

ANÁLISIS Y PROPUESTAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

ALEJANDRA RAMÍREZ AGUDELO

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniera Ambiental**

Adriana María Alzate Tejada
Magister en Gestión y Auditorías Ambientales



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA AMBIENTAL
ENVIGADO
2018**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	8
1. PRELIMINARES.....	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Objetivos del proyecto	10
1.2.1 Objetivo General.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 Marco de referencia.....	11
1.3.1 Antecedentes	11
1.3.2 Marco teórico.....	13
2. METODOLOGÍA.....	16
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	18
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES AL FIN DE SU VIDA ÚTIL YA IMPLEMENTADAS POR OTROS PAÍSES QUE PRESENTEN AVANCES SIGNIFICATIVOS EN EL TEMA.....	18
3.1.1 Revisión bibliográfica del uso y consumo de paneles solares en Reino Unido, Alemania y España.....	18
3.1.2 Revisión bibliográfica de normativa en la Unión Europea	19
3.1.3 Revisión bibliográfica de estrategias de manejo integral en Reino Unido, Alemania y España.....	22
3.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL CONTEXTO COLOMBIANO EN MATERIA DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DE LOS PANELES SOLARES.....	27
3.2.1 Revisión bibliográfica de uso y consumo de paneles fotovoltaicos en Colombia	27
3.2.2 Revisión bibliográfica de normativa en Colombia.....	28

3.3	EVALUACIÓN TÉCNICA DE OPORTUNIDADES PARA LA CORRECTA GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS PANELES SOLARES EN EL MARCO CICLO DE VIDA EN COLOMBIA	39
3.3.1	Propuestas desde la perspectiva de gestión.....	40
3.3.2	Propuestas desde la perspectiva técnica.....	46
3.3.3	Propuestas desde la perspectiva normativa	51
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	52
5.	REFERENCIAS	54

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica y cantidad de instalaciones solares en el Reino Unido en marzo 2018	18
Figura 2. Capas componentes de los paneles fotovoltaicos cristalinos y sus materiales.	47
Figura 3. Propuesta para el proceso de desmantelamiento, tratamiento, y disposición final de los componentes de paneles fotovoltaicos.....	50

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Propuesta de reglamento técnico para la gestión de los residuos de paneles solares fotovoltaicos en Colombia	51
--	----

RESUMEN

Los paneles solares fotovoltaicos en Colombia presentarán una problemática importante en las próximas dos décadas, cuando las primeras generaciones de paneles instalados en el país concluyan sus vidas útiles y deban ser dispuestos finalmente. Actualmente no existe una infraestructura o normativa que explícitamente delimite y defina cómo se deben gestionar estos residuos, por lo que no sólo se perderían oportunidades de negocio y de economía circular al aprovecharlos, sino que podrían generarse residuos peligrosos en el proceso si no se les da el tratamiento adecuado. Es por esto que Colombia debe seguir los pasos de países que ya presenten avances significativos en el tema, como lo son Alemania, España, y el Reino Unido, y adaptar sus estrategias al contexto nacional en términos de la gestión de residuos.

El presente trabajo lleva a cabo en varias fases: primero, un análisis del contexto nacional e internacional en cuanto al uso y consumo de paneles solares y de los casos exitosos de estrategias empleadas en países mencionados que podrían brindar una orientación para los pasos a seguir a nivel nacional. Luego, una revisión de la normativa vigente en Colombia en materia de gestión de residuos, especialmente aquellos provenientes de aparatos eléctricos y electrónicos. Además, se estudia y analizan las políticas nacionales de producción y consumo sostenible y el Plan Nacional de Desarrollo para orientar los pasos a seguir.

De estas revisiones se extrapolaron y formularon potenciales estrategias, tanto técnicas como normativas y de gestión, aplicables en un contexto colombiano. Por último, se generaron planteamientos concretos para el país en forma de alternativas técnicas, alternativas de gestión y estrategias normativas, recopiladas en un reglamento técnico que serviría como apoyo para el país para regular las responsabilidades de los productores, distribuidores, comercializadores y consumidores de paneles fotovoltaicos en Colombia, con el fin de reducir en lo posible los impactos ambientales de los residuos provenientes de éstos.

Palabras clave: residuos sólidos, energía solar, energía fotovoltaica, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, gestión integral de residuos sólidos

ABSTRACT

Photovoltaic solar panels will pose a considerable complication for Colombia in the next two decades, when the first generations of panels installed in the country reach the end of their life cycles and must be disposed of. There is currently no infrastructure or legislation that explicitly defines how solar panel waste must be managed, which will not only lead to circular economy and business opportunities being missed on a national level, but also to the potential generation of hazardous waste if the panels are not treated and managed properly. For this reason, Colombia must follow the footsteps of countries that have made significant progress in the matter, like Germany, Spain, and the United Kingdom, and adapt their strategies to its own national context in terms of waste management.

This project is executed in different phases: first, an analysis of the national and international contexts in regards to the use of solar panels, as well as successful cases of different strategies used in the countries mentioned above that may offer guidance as to how Colombia can begin to manage its own solar panel waste. Then, an extensive literature review of the current Colombian legislation in regards to waste management, especially waste electrical and electronic equipment. National sustainable production and consumption policies, as well as the national development plan, are also studied and analyzed in order to guide the following phases.

Next, the information gleaned from these reviews was used to extrapolate and form several potential strategies for Colombia, in terms of technical applications in the treatment and disposal of solar panel waste, legislation, and other management strategies. Lastly, concrete approaches were proposed for the country in the form of technical alternatives, management alternatives, and legislative proposals, all of which were compiled in a technical regulation that would serve as a normative support for the nation to regulate the responsibilities of solar panel manufacturers, distributors, retailers, and consumers in Colombia, in order to reduce the environmental impact of this waste as much as possible.

Keywords: solid waste, solar energy, photovoltaic energy, waste electrical and electronic equipment, waste management.

INTRODUCCIÓN

A medida que el sector energético busca reducir su dependencia sobre los combustibles fósiles con la integración de energías renovables, la energía solar fotovoltaica seguirá creciendo como lo ha hecho en años recientes a nivel global. Colombia no se quedará atrás con normas como la Ley 1715 de 2014, que regula las energías renovables no convencionales, incluida la solar, se hace cada vez más fácil su acogida en la matriz energética en el país. Sin embargo, esto no es sin consecuencia; los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil promedio de entre 20 y 25 años, por lo que las primeras generaciones de paneles instalados concluirán sus ciclos de vida en las próximas dos décadas y será necesario tener la infraestructura técnica y normativa lista para su apropiada gestión.

Actualmente, esta infraestructura no existe específicamente para los residuos de paneles solares, por lo que si no se actúa rápido, el país podrá perder oportunidades de negocio y de economía circular al no aprovechar los componentes de los paneles apropiadamente, además de generar un impacto ambiental considerable al permitir que estos residuos se vuelvan peligrosos en un relleno sanitario sin tratamiento alguno. Por esta razón, es importante que Colombia siga los pasos de países que llevan una más larga historia de uso de paneles fotovoltaicos y que han manejado esta problemática exitosamente.

El presente trabajo realiza una revisión bibliográfica acerca del uso y consumo de paneles solares en Alemania, España y el Reino Unido, países que han mostrado avances significativos en el tema. Además, se estudia la normativa implementada en la Unión Europea y las estrategias implementadas en estos tres países para la gestión de los residuos de paneles solares.

Luego, se hace una revisión de la normativa vigente en Colombia en cuanto a la gestión y el manejo integral de los residuos sólidos, específicamente de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, y además las políticas que se tienen en cuanto a la producción y el consumo sostenible.

Con toda esta información, se formularon estrategias para la gestión, el tratamiento, y la disposición final de los residuos de paneles solares desde la perspectiva técnica, normativa y de gestión, aplicables en un contexto colombiano. Estas estrategias luego se recopilaron en un reglamento técnico que serviría de apoyo para el país en la gestión de estos residuos.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de energía solar a partir de paneles fotovoltaicos ha incrementado constantemente a nivel mundial desde los años setenta, a medida que los precios de dichos paneles han bajado y esta tecnología se ha vuelto más asequible para el público. Esto, por supuesto, representa un gran avance en la búsqueda por la independencia de los combustibles fósiles para generar energía, y puede llegar a significar la expansión de la cobertura eléctrica a comunidades que todavía no la tengan. Sin embargo, la proliferación de los paneles solares lleva consigo el problema de su disposición final.

Se han realizado numerosos estudios y análisis en todo el mundo acerca del ciclo de vida de los paneles solares que incluyen la producción, distribución, instalación y operación de éstos, pero rara vez se ha analizado lo que ocurre cuando se acaba su vida útil, que generalmente dura entre 20 y 25 años, dependiendo de la tecnología utilizada. Por consecuencia, poco se sabe de cómo aprovechar y disponer de los paneles una vez su ciclo de vida termina.

Dado que las celdas fotovoltaicas y los paneles solares tienen una variedad de elementos que los componen, su disposición es de especial importancia. Una vez el panel haya llegado al fin de su ciclo de vida, ciertas sustancias que componen las celdas en su interior comienzan a degradarse y volverse tóxicas y corrosivas si no se les da una gestión apropiada y a tiempo, de manera que todo el panel puede llegar a convertirse en un residuo de carácter peligroso si no se le da el tratamiento y la disposición adecuada. Estas sustancias incluyen iones libres como el silicio dopado con fósforo y boro, al igual que metales pesados como el cadmio y el plomo. En caso que no se le dé una disposición final adecuada a los paneles, estas sustancias pueden lixivarse e infiltrar el ambiente, causando severos impactos en la calidad del agua, suelo, y aire.

Adicionalmente, no disponer de estos residuos de manera apropiada implica el costo de oportunidad de no aprovechar los elementos constituyentes de los paneles que puedan ser reciclados con o sin tratamiento de algún tipo, como los marcos de aluminio y otros metales y los vidrios de las celdas. Es de especial importancia recuperar y aprovechar ciertos metales raros en la corteza terrestre cuya extracción implica un alto costo, tanto económico como ambiental, como el galio y el indio.

Países europeos como Alemania, España y el Reino Unido, que tienen una fuerte infraestructura de manejo de residuos sólidos y una historia más extensa de uso de energía solar a gran escala, han logrado manejar estos residuos exitosamente, pero esta

es más la excepción que la norma a nivel internacional. Países con menos recursos, normativa y experiencia en el manejo de estos residuos difícilmente podrían aplicar las estrategias de estos países sin adaptarlas a su propio contexto.

Colombia especialmente se encuentra en un punto crítico en cuanto a los residuos de paneles solares, ya que los primeros paneles instalados a gran escala en el país están próximos a salir de circulación cuando su vida útil termine aproximadamente en los años 2020 a 2030, y actualmente no existe normativa, infraestructura o plan de manejo para abordar esta problemática. Hasta ahora, ni siquiera se han clasificado los residuos de paneles solares como peligrosos, y mucho menos se ha obligado a las compañías productoras, distribuidoras y comercializadoras de paneles a cerrar sus ciclos y manejar estos residuos de manera apropiada.

Este cierre de ciclos y la reinserción de materiales en la producción llevarían consigo una reducción en los costos de manufactura y en el precio de venta de los paneles, que a su vez llevaría a la propagación de la tecnología de energía solar. De esta manera se impulsaría aún más la independencia de los combustibles fósiles a nivel internacional, y a nivel del territorio colombiano, se mitigarían los impactos del cambio climático sobre la seguridad energética de las plantas hidroeléctricas.

Es por esto que es de suma importancia para los investigadores del país abordar la pregunta, ¿cómo se les puede dar una disposición final adecuada a los paneles solares en Colombia?

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Proponer técnicas para la disposición final de paneles solares en Colombia

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir las estrategias de disposición final de paneles solares al fin de su vida útil, ya implementadas por otros países que presenten avances significativos en el tema.
- Describir el estado actual del contexto colombiano en materia de aprovechamiento y disposición final de los elementos componentes de los paneles solares.
- Evaluar técnicamente las oportunidades para la correcta gestión y aprovechamiento de los residuos provenientes de los paneles solares en el marco ciclo de vida en Colombia.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

La Agencia Internacional de Energía Renovable, IRENA por sus siglas en inglés, fue fundada en el 2008. Es una organización intergubernamental cuyo objetivo es apoyar a las naciones en su transición a las energías renovables, y sirve como plataforma principal para la cooperación internacional y el intercambio de conocimiento, tecnología y experiencia. Sus miembros incluyen entidades gubernamentales, no gubernamentales, internacionales y del sector privado que cooperan entre sí para promover el desarrollo de las energías renovables (IRENA, s.f.).

Adicionalmente, el IRENA lleva a cabo investigaciones de todo tipo acerca de las energías renovables, incluyendo la energía solar. Su informe End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels (IRENA & IEA-PVPS, 2016), es una recopilación de las investigaciones que la agencia ha hecho acerca del manejo de los paneles solares fotovoltaicos al fin de su vida útil. El informe incluye proyecciones del crecimiento de los paneles fotovoltaicos a nivel global y de la generación de residuos consecuente, una revisión del manejo que se le da en ciertos países específicos, y un análisis de la creación de valor que tomaría lugar tras un aprovechamiento apropiado de este residuo.

Dentro de la comunidad internacional, la Unión Europea parece tener el mejor manejo de los residuos de paneles solares. Solar Power Europe es una asociación de países europeos fundada en 1985 cuya visión es asegurar que la energía solar sea la contribución más grande al sistema energético europeo, y su misión es asegurarse que el sistema regulatorio tome forma para promover la creciente oportunidad de mercado de energía solar en Europa (Solar Power Europe, 2015). Se conforma por un comité estratégico encargado de darle forma a la legislación referente a la transición a energía solar, además de una serie de fuerzas de trabajo enfocadas a distintos objetivos. Entre éstos está el desarrollo técnico de la energía solar y su almacenamiento, el estudio de las necesidades cambiantes del mercado de energía solar de cada país miembro de la asociación, y el cálculo y análisis de las huellas ecológicas del ciclo de vida de los paneles solares. La fuerza de trabajo dedicada a este último objetivo comenzó con el estudio del ciclo de vida hasta la operación de los paneles, pero en tiempos recientes ha empezado a considerar la disposición final, ya que ahora se le da un manejo dedicado a esta etapa en la Unión Europea.

La directiva de residuos de equipos eléctricos y electrónicos fue establecida en el año 2002 y hace parte de la dirección general de ambiente de la Comisión Europea. Establece la normativa de la Unión Europea referente al manejo dicho tipo de residuos (European Commission, 2017). La directiva de manejo ha sido modificada en dos ocasiones, una en el 2008 y otra en el 2012, con esta última enmienda integrando el manejo de los paneles solares (Solar Waste, s.f.). Esta comisión maneja la legislación, su implementación y

monitoreo, herramientas de cálculo de estadísticas para cada país miembro, y estándares del manejo de los residuos de equipos eléctricos y electrónicos. Es aquí donde se origina la directiva de manejo de residuos de paneles solares en Europa.

La gran parte de la gestión de residuos de paneles solares en Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Holanda y el Reino Unido es llevada a cabo principalmente por PV Cycle, una asociación de empresas de energía solar basadas en estos países que se responsabilizan de la recolección y disposición final de paneles solares al fin de su ciclo de vida. La asociación estableció la infraestructura de recolección necesaria para reunir los residuos de paneles en su origen, sea proveniente de uso doméstico o profesional, y luego se encarga de dismantelar los paneles y recuperar y aprovechar los materiales reciclables (PV Cycle, s.f.). La asociación logró una tasa de recuperación de paneles a base de sílice del 96% en el 2016 (PV Cycle, 2016).

Los países latinoamericanos con mayor uso de paneles voltaicos son Brasil, Chile y Ecuador, pero ninguno tiene una infraestructura fuerte para el manejo o aprovechamiento de los residuos generados por éstos al final de su ciclo de vida. Sin embargo, existen algunos estudios de cómo aprovechar ciertos elementos constituyentes de manera independiente en Argentina, como el vidrio de las celdas. El estudio *Ciclo de vida del vidrio de los paneles fotovoltaicos*, publicado por la Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires, contiene una revisión del proceso de fabricación del vidrio templado y una evaluación de las diferentes alternativas de gestión del vidrio, como la disposición en rellenos sanitarios, la recuperación, la reutilización, y el reciclaje del mismo por medio de una matriz de evaluación. Se describe el proceso de reciclado y se hace un breve estudio de impacto ambiental del mismo, y concluye con las ventajas de esta alternativa de manejo (Kim, M., Pampena, R., Goldsmidt, V., & Marcos, K. (s.f.)).

A nivel de Colombia, la disposición final de paneles solares no ha tomado forma, ya que sólo se empezará a convertir en un problema en los años 2020 a 2030, y no ha habido gran demanda por un plan de manejo como tal. En la actualidad, la única gran empresa nacional que se dedica a las energías no convencionales es Celsia, fundada en 2012 y perteneciente al Grupo Argos (Celsia, s.f.). Antes de que esta compañía entrara en funcionamiento, en Colombia sólo había pequeñas y medianas empresas comercializadoras de paneles solares importados del exterior a baja escala, ninguna de las cuales mostró ni ha mostrado interés por la solución a esta problemática. Celsia es la única empresa en el entorno colombiano que demuestra preocupación e interés en la disposición final de los paneles, pero hasta ahora esta preocupación no ha generado ninguna solución definida.

En cuanto a normativa colombiana, la ley 1715 de 2014 regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. (Congreso de la República, 2014). El Artículo 19 habla del desarrollo de la energía solar específicamente, definiéndola como una fuente de energía no convencional y fomentando el aprovechamiento del

recurso solar en el territorio nacional de diversas maneras. Sin embargo, la ley se enfoca en el uso y regulación de los paneles, pero no hace ninguna mención de cómo manejar el residuo generado al fin del ciclo de vida de éstos.

Este tema se empieza a abordar en la ley 1672 de 2013, la cual establece la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (Congreso de la República, 2013). Esta norma puede considerarse homóloga a la directiva de la Comisión Europea mencionada anteriormente, tomada en un contexto puramente colombiano. La ley aclara terminologías claves, clasifica los diferentes tipos de RAEE, delimita las responsabilidades y obligaciones del gobierno nacional, del productor de estos aparatos, de su comercializador, de su consumidor y de los gestores responsables por manejar los residuos. Aunque los paneles fotovoltaicos pertenecen a los RAEE, la norma no los menciona explícitamente.

1.3.2 Marco teórico

- **Aspectos generales de la gestión y manejo de residuos sólidos**

Existen varios aspectos de la gestión y manejo de los residuos sólidos que deben ser aplicados en las diferentes etapas de la disposición final de los paneles solares al fin de su ciclo de vida.

Comenzando con algunas definiciones clave, según el Decreto 1713 de 2002, un residuo sólido es “cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega”. Los residuos sólidos se clasifican en diferentes categorías según sus características; entre estas categorías se encuentran los residuos ordinarios, orgánicos, especiales, hospitalarios o similares, entre otros.

Es de especial importancia la categoría de residuo sólido peligroso. El Decreto 4741 de 2005 declara que se considera un residuo peligroso aquel que posea características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, infección, o radiactividad. Los componentes químicos como metales pesados que están presentes en las celdas fotovoltaicas de los paneles solares presentan toxicidad al medio ambiente y la salud humana, por lo que los paneles solares deben clasificarse como residuos peligrosos.

La gestión de los residuos sólidos va más allá que su clasificación; si un residuo es aprovechable (es decir, que es susceptible de incorporación a un proceso productivo), debe ser recuperado. La recuperación es la acción de seleccionar y retirar los residuos sólidos que puedan someterse a un proceso de aprovechamiento para convertirlos en materia prima que pueda ser utilizada en la fabricación de nuevos productos. De esta manera, los materiales recuperados pueden volver a hacer parte del ciclo productivo y económico de manera eficiente al ser reutilizados, reciclados, o aprovechados en

cualquier otra manera que traiga consigo beneficios ambientales, sanitarios, o económicos (República de Colombia, 2002).

Una de las modalidades del aprovechamiento de residuos sólidos es la reutilización, la cual se define como la prolongación y adecuación de la vida útil de los mismos, y que devuelve a los materiales la posibilidad de ser utilizados en su función original o relacionada. Cabe resaltar que la reutilización no requiere procesos adicionales de transformación del material que se esté aprovechando (República de Colombia, 2002). Este puede ser el caso cuando se aprovechan los marcos metálicos de los paneles solares, los cuales no tienen ninguna característica de peligrosidad y pueden ser recuperados y reutilizados en la producción de paneles nuevos.

El reciclaje, por su parte, sí requiere de un proceso de transformación del material recuperado para devolverle su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. Este tratamiento abarca las operaciones, procesos o técnicas que modifican las características del residuo para aumentar sus posibilidades de aprovechamiento o para minimizar en lo posible los impactos al ambiente y la salud humana (República de Colombia, 2002).

Por último, los materiales que no puedan ser aprovechados deben ser dispuestos finalmente. La disposición final de los residuos sólidos es el proceso de aislar y confinarlos de forma definitiva en instalaciones o lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los riesgos a la salud humana y al ambiente (República de Colombia, 2002).

○ **Marco legal**

El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente es dictado por el Decreto Ley 2811 de 1974. Los artículos 34 a 38 establecen las normas generales en cuanto a los residuos, basuras, desechos y desperdicios. El artículo 34 declara que “se utilizarán los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase.”; el artículo 36 manifiesta que en la disposición final de los residuos, preferiblemente se utilizarán los medios que permitan evitar el deterioro del ambiente y la salud humana, reutilizar los componentes del residuo, producir nuevos bienes y restaurar o mejorar los suelos; y el artículo 38 establece que “por razón del volumen o de la calidad de los residuos (...), se podrá imponer a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos, o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso” (República de Colombia, 1974).

Veinte años después se publica la Ley 142 de 1994, por medio de la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el servicio público de aseo, y se dictan otras disposiciones que regulan el almacenamiento y disposición de los residuos

sólidos. Declara la competencia de los municipios, los departamentos, y la Nación para la prestación de los servicios públicos. Enumera los siguientes componentes del servicio público de aseo: recolección y transporte, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, transferencia, tratamiento y aprovechamiento, y disposición final (Congreso de la República, 1994).

Esta ley es parcialmente reglamentada por la Ley 1713 de 2002, la cual establece normas destinadas a orientar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios. Entra en detalle en los cuatro componentes del servicio público de aseo enumerados en la Ley 142 de 1994 (República de Colombia, 2002).

El Decreto Ley 4741 de 2005 reglamenta parcialmente la prevención de la generación de residuos peligrosos y busca regular el manejo de éstos, con el fin de proteger el ambiente y la salud humana. Contiene definiciones clave, al igual que lineamientos para la clasificación, caracterización, identificación y presentación de los residuos peligrosos. Los residuos de paneles solares pueden considerarse peligrosos por su potencial característica de toxicidad al final de su vida útil, según el inciso 7 del anexo III de este decreto, el cual declara que “se considera residuo o desecho tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente” (República de Colombia, 2005).

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo corresponde a un proyecto de investigación exploratorio cualitativo, en el cual se busca realizar una extensiva revisión bibliográfica para luego analizar, formular y evaluar propuestas de estrategias concretas que pueden ser adoptadas en Colombia para la gestión y disposición final de paneles solares al final de su ciclo de vida.

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en el trabajo, se estableció el siguiente procedimiento:

Fase 1: Describir las estrategias de disposición final de paneles solares al fin de su vida útil, ya implementadas por otros países que presenten avances significativos en el tema.

- *Actividad 1.1:* Revisión cuantitativa del nivel de uso y consumo de paneles solares en los países seleccionados.

En este caso, se seleccionaron Alemania, España y el Reino Unido como casos de estudio.

- *Actividad 1.2:* Revisión bibliográfica de normativa implementada para gestionar estos residuos en el contexto de los países seleccionados.

Se tomó como referente la Unión Europea, pues las directivas a este nivel aplican para todos los Estados miembros de la misma y dictan los lineamientos que deben seguir sus estrategias.

- *Actividad 1.3:* Revisión bibliográfica de las estrategias del manejo integral de estos residuos en dichos países.

Fase II: Describir el estado actual del contexto colombiano en materia de aprovechamiento y disposición final de los elementos componentes de los paneles solares

- *Actividad 2.1:* Revisión bibliográfica cuantitativa sobre el nivel consumo de paneles solares en Colombia.
- *Actividad 2.2:* Revisión bibliográfica del contexto nacional referente a la normativa frente al aprovechamiento y disposición de paneles solares.

En este caso, se estudiaron el Plan Nacional de Desarrollo del gobierno Santos para el período 2014-2018, la Política Nacional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, y la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible.

Fase III: Evaluar técnicamente oportunidades para la correcta gestión y aprovechamiento de los residuos provenientes de los paneles solares en el marco ciclo de vida en Colombia.

A partir de la información reunida en las dos fases anteriores, y considerando el contexto colombiano, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- *Actividad 3.1:* Identificación y propuesta de mecanismos de gestión para el aprovechamiento y disposición final de paneles solares en Colombia con base en la revisión bibliográfica realizada en las Fases I y II.

Estos mecanismos de gestión incluyeron las diferentes herramientas de gestión que se pudieran implementar y potencializar en Colombia, al igual que la definición de las responsabilidades de cada uno de los actores representantes de cada etapa del ciclo de vida de los paneles solares.

- *Actividad 3.2:* Identificación y propuesta general de alternativas de aprovechamiento y disposición final de paneles solares en Colombia con base en la revisión bibliográfica realizada en la Fase I.

Considerando los componentes de un panel solar cristalino, las técnicas empleadas por los países estudiados, y las mejores tecnologías disponibles, se describió el proceso de desmantelamiento, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los paneles aplicable en Colombia.

- *Actividad 3.3:* Identificación y propuesta de mecanismos normativos de apoyo al aprovechamiento y disposición final de paneles solares en Colombia con base en las revisiones bibliográficas realizadas a lo largo del trabajo y los resultados de las actividades 1 y 2 de la presente Fase.

Se reunió todo lo propuesto y presentado en el presente trabajo en un reglamento técnico que sirve de apoyo para la normativa vigente colombiana en materia de gestión de residuos, con un enfoque específico hacia los residuos de paneles solares.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES AL FIN DE SU VIDA ÚTIL YA IMPLEMENTADAS POR OTROS PAÍSES QUE PRESENTEN AVANCES SIGNIFICATIVOS EN EL TEMA

3.1.1 Revisión bibliográfica del uso y consumo de paneles solares en Reino Unido, Alemania y España

○ Reino Unido

La capacidad instalada total de energía solar fotovoltaica en el Reino Unido en marzo 2018 fue de 12,831 MW con 945,423 instalaciones, como se evidencia en la siguiente figura, tomada de la Oficina de Estrategia Industrial y Energética, perteneciente al Departamento de Negocio del Reino Unido (2018):

Cumulative Capacity (MW)		Mar 2018
UK	0 to ≤ 4 kW	2,545.6
	4 to ≤ 10 kW	218.9
	10 to ≤ 50 kW	774.5
	50 kW to ≤ 5 MW	3,466.8r
	5 to ≤ 25 MW	4,297.9r
	> 25 MW	1,512.4
	Pre 2009 estimat	14.6
TOTAL		12,830.8r
Cumulative Count		Mar 2018
UK	0 to ≤ 4 kW	884,783
	4 to ≤ 10 kW	29,567
	10 to ≤ 50 kW	26,628
	50 kW to ≤ 5 MW	3,997r
	5 to ≤ 25 MW	408r
	> 25 MW	40
TOTAL		945,423r

Figura 1. Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica y cantidad de instalaciones solares en el Reino Unido en marzo 2018

Tomando un factor de conversión promedio en el cual un panel con capacidad de 250 W tiene un peso de 20 kg (Santhanam, 2015), el Reino Unido tiene 1,026.48 toneladas de paneles instaladas en su territorio.

- **Alemania**

Al cierre del 2017, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Alemania fue de 43 GW según el Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energía Solar (Fraunhofer ISE, 2018). Tomando un factor de conversión promedio en el cual un panel con capacidad de 250 W tiene un peso de 20 kg, Alemania tiene 3,440,000 toneladas de paneles fotovoltaicos instalados en su territorio.

- **España**

Según la Agencia Internacional de Energía, España contó con una capacidad instalada de energía solar fotovoltaica de 5.6 GW al cierre del 2017. Tomando un factor de conversión promedio en el cual un panel con capacidad de 250 W tiene un peso de 20 kg, España tiene 488,000 toneladas de paneles fotovoltaicos instalados en su territorio.

3.1.2 Revisión bibliográfica de normativa en la Unión Europea

Las directivas de la Unión Europea establecen los objetivos y resultados que deben conseguir los Estados miembros de la Unión, sin dictar los medios por los cuales se debe llegar a dichos resultados.

Para manejar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), el Consejo y el Parlamento Europeo instauraron la Directiva 2002/96/EC en el año 2003. Esta directiva en dio lugar a los primeros esquemas de devolución de RAEE por parte de los usuarios. Sin embargo, varios años después, la Comisión Europea consideró pertinente una revisión a la norma dada la alta tasa de generación de este tipo de residuo, y la enmendó y reemplazó con la Directiva 2012/19/EU en febrero 2012 (European Commission, 2018).

Esta directiva “establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)”. Establece las categorías de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos incluidos en el ámbito de su aplicación, entre ellos los aparatos eléctricos de consumo y paneles fotovoltaicos (p. 42 - 59, Unión Europea, 2008). La directiva también incluye una lista de definiciones claves para su aplicación. A continuación se resaltan los elementos de especial importancia para la disposición final de paneles fotovoltaicos presentes en la directiva.

- **Recolección separada**

Los Estados miembros deben adoptar medidas apropiadas para minimizar la disposición de RAEE en forma de residuos urbanos no separados o seleccionados, para así asegurar el tratamiento correcto de todos los RAEE recolectados. La norma le da prioridad a una

lista de RAEE cuya separación en la fuente es de especial importancia, incluyendo los paneles fotovoltaicos.

Los Estados miembros deben asegurar que para los RAEE provenientes de viviendas privadas, existan sistemas que le permitan a los usuarios finales y a los distribuidores devolver el residuo sin costo alguno. Igualmente, los proveedores de los aparatos eléctricos y electrónicos tienen la opción de establecer y operar sistemas de recolección de RAEE provenientes de viviendas privadas. Dichos sistemas de recolección pueden ser individuales o colectivos.

En caso que los RAEE no provengan de viviendas privadas, los Estados miembros deben asegurar que los proveedores, o terceros que actúen en su lugar, proporcionen el servicio de recolección del residuo en cuestión.

- **Eliminación y transporte de los RAEE recogidos**

Los Estados miembros deben prohibir la disposición de los RAEE recogidos y separados que no se hayan tratado de manera adecuada.

Adicionalmente, cuando sea conveniente los Estados miembros deben fomentar la separación entre RAEE que estén destinados a la preparación y su posterior reutilización, y otros RAEE, antes de cada nuevo traslado; esto con el fin de maximizar la reutilización del residuo.

- **Índice de recolección**

Se insta un principio de responsabilidad del proveedor, en el cual éste debe encargarse de que se llegue a cierto índice de recolección de los RAEE anualmente. Éste se determinará según diferentes metodologías de manera progresiva para facilitar la transición a metas cada vez más estrictas.

Hasta el cierre del 2015, se esperó que cada Estado miembro recogiera anualmente el equivalente a 4 kilogramos de RAEE proveniente de viviendas privadas por habitante en su territorio, o la misma cantidad de RAEE recogidos en promedio en los tres años precedentes, cualquiera fuera mayor.

Entre el 2016 y el 2019, se halla el peso medio de los aparatos eléctricos y electrónicos introducidos al mercado del Estado miembro en los tres años precedentes, y se estima el porcentaje de estos aparatos que se vuelven residuos en el año en cuestión para hallar el peso total de RAEE; el índice mínimo de recogida se calcula sobre este valor. Para el año 2016, la meta establecida por la directiva fue del 45%. Se estipula que los Estados miembros deben velar por que esta meta aumente cada año entre el 2016 y el 2019.

Del 2019 en adelante, se deberá recolectar el 65% del promedio anual del peso de aparatos eléctricos y electrónicos introducidos al mercado del Estado miembro en los tres años anteriores, o el 85% de los RAEE generados en su territorio en ese año.

Cabe mencionar que para países que tienen menor consumo de AEE y no cuentan con la infraestructura necesaria para cumplir estas metas (como Bulgaria, República Checa, Polonia, Malta, Hungría, entre otros), se tienen objetivos de recolección diferentes. A partir de agosto del 2016, estos Estados deben recolectar entre el 40% y 45% del peso promedio de AEE introducidos a su mercado en los tres años anteriores, y se les permite prorrogar el cumplimiento de la meta establecida para el resto de los Estados miembros a partir del 2019, a partir de una fecha de su elección a más tardar el 14 de agosto de 2021.

- **Tratamiento apropiado**

Los Estados miembro deben asegurar que todos los RAEE recogidos de forma separada reciban un tratamiento apropiado. Éste incluirá la preparación para la reutilización, la valorización, el reciclaje, y cualquier otro tratamiento que se considere necesario.

Los productores de AEE, o los terceros que actúen en su lugar, deben organizar sistemas que velen por la valorización de los RAEE utilizando las mejores técnicas disponibles. Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados miembros podrán establecer estándares de calidad para el tratamiento de los RAEE recolectados, y pueden comunicar estos estándares a la Comisión Europea, quien los haría públicos.

- **Objetivos de valorización**

Respecto a los RAEE recogidos de manera separada y enviados a ser tratados, deben velar por que se cumplan ciertos objetivos mínimos establecidos según el tipo de RAEE. Para paneles fotovoltaicos, se requiere una tasa de valorización de 75% y una tasa de reciclaje del 65%. Estos porcentajes se dan dividiendo el peso de los paneles fotovoltaicos que entran a las instalaciones de valorización o reciclaje, sobre el peso total de este residuo recolectado de manera separada.

- **Financiación relativa a los RAEE**

Los Estados miembros deben velar por que los proveedores aporten, como mínimo, la financiación de la recolección, tratamiento, valorización, y disposición final ambientalmente responsable de los RAEE, sean éstos provenientes de hogares particulares y viviendas privadas o no, que sean depositados en las instalaciones de recolección. Los productores pueden cumplir esta responsabilidad de manera individual o uniéndose a un sistema colectivo. Adicionalmente, los productores y los usuarios diferentes a hogares particulares pueden establecer acuerdos que estipulen otros métodos de financiación.

○ **Información para los usuarios**

Los Estados miembros deben velar por que los usuarios de AEE en hogares privados reciban la información necesaria en cuanto a su rol en el manejo apropiado de los RAEE. Entre los temas sobre los cuales deben estar informados los usuarios están:

- Su obligación de no disponer de los RAEE como residuos urbanos no seleccionados y de recogerlos de manera separada;
- Los sistemas de recolección y devolución que tienen disponibles;
- Cómo pueden contribuir al aprovechamiento, reciclaje y valorización de sus RAEE;
- Los efectos que pueden tener las sustancias peligrosas presentes en los RAEE sobre el medio ambiente y la salud humana.

○ **Información para las instalaciones de tratamiento**

Los Estados miembros deben tomar las medidas necesarias para asegurar que los productores de aparatos eléctricos y electrónicos proporcionen información, sin costo alguno, acerca de la preparación y reutilización de su producto, a más tardar un año después de que éste entre al mercado. Esta información debe incluir los componentes y materiales presentes en el producto, al igual que la utilización específica de sustancias peligrosas.

○ **Registro, información e informes**

Los Estados miembros tienen la responsabilidad de elaborar un registro de proveedores de AEE, incluyendo aquellos que los suministren por comunicación a distancia. El propósito de este registro es facilitar la gestión y el seguimiento del cumplimiento de esta Directiva. Se debe recolectar información anualmente sobre las cantidades y categorías de RAEE recogidos, preparados para la reutilización, reciclados y valorizados en el territorio, al igual que el peso de los RAEE que hayan sido exportados.

3.1.3 Revisión bibliográfica de estrategias de manejo integral en Reino Unido, Alemania y España

Siendo Estados miembros de la Unión Europea, los países del Reino Unido, Alemania y España deben cumplir con los requisitos presentados por la Directiva 2012/19/EU. Sin embargo, cada Estado miembro es libre de decidir las estrategias que implementará con el fin de alcanzar los objetivos establecidos por la norma europea. A continuación, se describen las estrategias de gestión y manejo integral implementadas en cada uno de estos países, las cuales se adaptan a sus necesidades y condiciones particulares.

○ **Reino Unido**

⇒ **Responsabilidades del productor**

Se considera un productor de AEE en el Reino Unido aquel que:

- Fabrica y vende AEE bajo su propia marca en el Reino Unido.
- Vende AEE fabricado por un tercero bajo su propia marca.
- Importa AEE comercialmente al Reino Unido.
- Se encuentra por fuera del Reino Unido y suministra AEE directamente al mercado del Reino Unido por medio de ventas a distancia (en Internet, por correo, por teléfono, etc.).

Todos los productores de AEE deben registrarse anualmente como tal. Si el productor pone más de 5 toneladas de AEE en el mercado, éste debe unirse a un sistema de cumplimiento del productor, o PCS por sus siglas en inglés. El PCS se encarga de financiar y organizar la recolección, recuperación, tratamiento y disposición ambientalmente responsable de RAEE de dentro del Reino Unido.

Para RAEE provenientes de hogares particulares, los PCS tienen una meta anual de recolección que cubre todos sus miembros. Cada proveedor es responsable de financiar una parte de esa meta con base en su participación en el mercado. (Environment Agency, 2014).

Adicionalmente, los productores de AEE deben marcar sus productos con un símbolo de recipiente de basura con una cruz, para señalar que debe ser separado de otros tipos de residuo.

⇒ **Responsabilidades del comercializador y distribuidor**

Las regulaciones aplican para los comercializadores y distribuidores de aparatos eléctricos y electrónicos, sin importar su modelo de venta (sea venta directa o por Internet, correo, o teléfono).

El comercializador o distribuidor de RAEE debe ofrecerle a sus clientes una manera de deshacerse de sus aparatos eléctricos y electrónicos domésticos cuando le venda una versión nueva del mismo artículo, sin importar si adquirió la versión que busca reemplazar por otro distribuidor. Puede ofrecer un servicio de devolución gratis en su punto de venta, o algún otro servicio de devolución sin costo alguno. De no tener ninguna de estas opciones, el comercializador o distribuidor debe unirse a un sistema de devolución del distribuidor, o DTS por sus siglas en inglés.

Es responsabilidad del comercializador o distribuidor ofrecerle a su cliente información escrita y sin ningún costo en referencia a su sistema de devolución, incluyendo la recolección a domicilio; cómo pueden reutilizar y reciclar su AEE; por qué los RAEE

deben ser separados de otros tipos de residuo; los efectos perjudiciales de no reciclar AEE; el significado del símbolo del recipiente de basura con una cruz que tiene su producto. Esta información puede encontrarse dentro de su punto de venta o en folletos de información que acompañen el producto. Los comercializadores por Internet deben publicar esta información en su página web (Environment Agency, s.f.).

Para disponer de los residuos recolectados, los comercializadores y distribuidores pueden contactar un PCS, que gestionará su reciclaje o la preparación para la reutilización en una instalación de tratamiento aprobada y autorizada (AATF por sus siglas en inglés). Es posible que el comercializador o distribuidor deba pagar por la recolección y transporte de los residuos hacia una AATF o un punto de recolección del PCS.

Por otro lado, el comercializador o distribuidor puede transportarlos a alguno de estos destinos por su propia cuenta, en cual caso debe registrarse como transportador si se encuentra en Inglaterra, Gales, Escocia, o Irlanda del Norte. En cualquier caso, el comercializador o distribuidor tiene la obligación de mantener un registro de la cantidad de RAEE que haya recolectado y dado una disposición.

De igual manera, puede organizar una instalación de recolección designada (DCF), de manera individual o colectiva con otros comercializadores y distribuidores, donde sus clientes puedan llevar todo tipo de RAEE. Estos residuos recolectados luego deben ser llevados a una AATF en acuerdo con un PCS.

Por último, existe la opción de unirse a un sistema de recolección para distribuidores (DTS) en lugar de ofrecer la recolección directamente. El comercializador o distribuidor debe pagar una cuota que cubra sus obligaciones de RAEE, dependiendo de la cantidad de AEE que venda. De esta manera el comercializador o distribuidor no es responsable de la gestión de los residuos, y solo debe mantener registro de la información que le dé a sus clientes acerca de dónde deben llevar su RAEE.

○ **Alemania**

Para plasmar los requerimientos impuestos por la Directiva 2012/19/EC de la Unión Europea, el gobierno alemán estableció una ley sobre la comercialización, la recuperación y la eliminación ambientalmente responsable de los equipos eléctricos y electrónicos, conocida comúnmente como ElektroG.

La Ley ElektroG especifica las obligaciones concretas de los fabricantes, el mercado, y los propietarios de los RAEE, al igual que de los municipios y las compañías de disposición.

Los ciudadanos tienen la obligación de separar sus RAEE de otros residuos recolectados por el municipio. Las entidades públicas responsables por la disposición de residuos tienen el deber de organizar y operar puntos de recolección de RAEE. La transferencia de

RAEE a estos puntos es responsabilidad de los productores de AEE, y debe darse de manera gratuita para el usuario (Umwelt Bundesamt, 2014).

⇒ **Responsabilidades del fabricante**

Todos los fabricantes de AEE en Alemania deben registrarse ante el gobierno y demostrar que pueden garantizar la financiación de la gestión de los residuos que generen los productos que ponen al mercado.

Los fabricantes tienen el deber de recoger los RAEE depositados en los puntos de recolección operados por los municipios, por lo que deben proporcionar ellos mismos los contenedores de recolección y recoger sus contenidos inmediatamente tras el aforo de éstos. La reutilización o tratamiento de los residuos debe ser organizada por el fabricante mismo, y éste debe presentar evidencia de que efectivamente esté cumpliendo con su responsabilidad. El tratamiento debe cumplir con estándares ambientales, como la remoción de todo líquido presente en el equipo, la separación de contaminantes y otros componentes, y la implementación de las mejores prácticas disponibles. Para el cumplimiento de estas responsabilidades los productores tienen la opción de unirse a sistemas colectivos de recolección de RAEE de hogares particulares.

Para facilitar el cumplimiento de sus obligaciones bajo la ley ElektroG, los fabricantes han creado el Stiftung EAR, o Fondo RAEE, de manera colectiva. El fondo establece las bases para determinar la cantidad de residuos recogidos que corresponde a cada fabricante, y para la distribución uniforme de manera temporal y regional de sus obligaciones. Adicionalmente recoge la información referente a los aparatos puestos en el mercado, recolectados, y reciclados, y reporta esta información ante las autoridades competentes (Bundesministerium für Umwelt, 2015).

⇒ **Responsabilidades del comercializador o distribuidor**

Tanto los comercializadores con establecimiento en el territorio alemán como los comercializadores por internet, tienen el deber de recibir los residuos de sus productos al final de su vida útil. Esta devolución debe darse tanto en ocasiones donde el usuario esté buscando reemplazar su antiguo aparato eléctrico o electrónico con un modelo nuevo y equivalente, como cuando no se esté dando ningún reemplazo.

Los distribuidores pueden reciclar los RAEE devueltos por sí mismos, o entregarlos al fabricante para que lleve a cabo el tratamiento (Bundesministerium für Umwelt, 2015).



Responsabilidades de las entidades públicas proveedoras de la disposición de residuos

Las entidades públicas responsables por la disposición de residuos también son responsables por la recolección de RAEE de las viviendas privadas. El diseño del proceso de recolección está bajo la discreción de cada municipio, con tal de que aseguren que los usuarios puedan entregar sus residuos de manera gratuita. La cantidad y distribución de los puntos de recolección dependen de la densidad poblacional y cualquier otra circunstancia pertinente, al igual que los objetivos de recolección que tenga el municipio.

Las entidades públicas recolectan los residuos en contenedores separados según sus características, que luego son recogidos por los fabricantes como se menciona anteriormente. Sin embargo, los municipios también tienen la opción de disponer de los residuos directamente, o coordinar con terceros que ofrezcan el servicio (Bundesministerium für Umwelt, 2015).

○ España

La entidad encargada de darle una disposición final a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en España es una organización sin ánimo de lucro llamada Recyclia. Ésta se encuentra conformada por cinco fundaciones separadas - Ecoasimelec, Ecopilas, Ecofimática, Ecolum y Tragamóvil - cada una de las cuales se encarga de disponer de diferentes tipos de RAEE.

De estas, Ecoasimelec dispone de paneles fotovoltaicos grandes, entre algunos otros tipos de residuos como monitores, pantallas, y productos de transmisión, transformación, acumulación y medición de energía (Recyclia, 2018). La fundación ofrece la cobertura necesaria para la recolección y reciclaje correctos y oportunos de los RAEE, y su objetivo principal es facilitarle a los productores, distribuidores y usuarios el cumplimiento de sus obligaciones provenientes de la normativa aplicable a cada producto que gestionan. Ecoasimelec trabaja en conjunto con PV Cycle para ofrecer las soluciones de gestión a sus clientes.

○ Internacional (PV Cycle)

Como ejemplo concreto de la unión de las estrategias de gestión y manejo integral de los residuos de paneles fotovoltaicos a nivel internacional, se tiene a PV Cycle, una organización sin ánimo de lucro fundada en el año 2007 cuyo objetivo es facilitar el cumplimiento normativo de los productores, distribuidores, comercializadores y consumidores de paneles solares. Inicialmente concebida como solución al tema de la

gestión de residuos sólidos de la industria fotovoltaica únicamente, actualmente cubre una más amplia gama de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Más del 70% de los fabricantes de paneles fotovoltaicos en la Unión Europea hacen parte de la red PV Cycle para gestionar sus residuos eléctricos y electrónicos. Tiene presencia principalmente en Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Holanda y el Reino Unido, pero también tiene actividades en países por fuera de la Unión Europea como Estados Unidos e India. (PV Cycle, 2018).

La organización trabaja como sistema de cumplimiento del productor (PCS, descrito anteriormente en las responsabilidades del productor en el Reino Unido), como sistema de devolución del distribuidor (DTS), y como gestor del tratamiento y la disposición final de los residuos recolectados.

Los paneles de silicio tienen una presencia de aproximadamente 95% en el mercado actual, a comparación del 5% de las celdas solares de película fina y un porcentaje casi nulo de tecnologías experimentales y emergentes (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, 2018). El proceso de tratamiento que lleva a cabo PV Cycle sobre este tipo de panel es el siguiente:

1. Los materiales se recolectan en los centros de acopio designados
2. Se desmontan las partes de vidrio y aluminio de los paneles. De aquí, el 96% del vidrio y el 100% del metal es reutilizado.
3. Se lleva a cabo un procesamiento térmico del material restante para eliminar la cobertura plástica de las celdas. Se recuperan los gases provenientes del plástico caliente y se recirculan como fuente de calor para reducir emisiones.
4. Se separan los módulos que sostienen las celdas juntas con fuerza mecánica. El 80% de los módulos son reutilizados.
5. Las celdas individuales se trituran para que quedan fragmentos relativamente gruesos, y se remueven los metales pesados y otros aditivos entre las obleas de silicio con químicos especializados.
6. Se funden las obleas de silicio y se reutiliza el 85% del material.

(Green Match, s.f.)

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL CONTEXTO COLOMBIANO EN MATERIA DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DE LOS PANELES SOLARES

3.2.1 Revisión bibliográfica de uso y consumo de paneles fotovoltaicos en Colombia

Actualmente no se encuentra información disponible acerca de la capacidad instalada de paneles fotovoltaicos en Colombia. Las estadísticas del DANE en materia de energías

renovables incluyen principalmente la energía proveniente de centrales hidroeléctricas, leña, bagazo, residuos, alcohol carburante y biodiesel.

Para acceder a los beneficios tributarios que ofrece el gobierno, los proyectos de energía deben registrarse ante la UPME en un registro de fuentes no convencionales de energía renovable; sin embargo, este registro no se encuentra disponible para el público.

3.2.2 Revisión bibliográfica de normativa en Colombia

○ Plan Nacional de Desarrollo del gobierno Santos, 2014 a 2018

El Plan Nacional de Desarrollo es un documento formulado por el presidente de la República que sirve como guía para las políticas públicas que formulará su equipo de gobierno. Proporciona todos los lineamientos necesarios que deben seguir estas políticas de manera que exista coherencia entre ellas y con el fin de llevar el país en una dirección definida y concreta.

El Plan Nacional de Desarrollo para el gobierno Santos de 2014 a 2018 menciona la necesidad de incentivar el uso de energías renovables no convencionales, y declara que se reglamentará el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) (Pg. 243, Departamento Nacional de Planeación, 2015). Este fondo fue efectivamente creado en el Artículo 10 de la Ley 1715 de 2014.

En cuanto a los residuos sólidos, el Plan establece que se desarrollarán políticas y regulaciones cuyo objetivo será el fortalecimiento de la gestión integral de los mismos al generar economías de escala e incentivar las inversiones necesarias para asegurar la ejecución adecuada de los sistemas de servicio público de aseo y sus actividades de aprovechamiento y disposición final. De igual manera, el Plan declara que se establecerán mecanismos para definir, coordinar y articular las políticas, planes y programas de GIRS en Colombia de manera intersectorial (Pg. 392, Departamento Nacional de Planeación, 2015).

El capítulo de crecimiento verde del Plan incluye varios objetivos para llevar al país hacia un desarrollo sostenible, entre los cuales está proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad y la gobernanza ambiental. Este objetivo cuenta con cinco estrategias para su cumplimiento, incluyendo mejorar la calidad ambiental a partir del fortalecimiento del desempeño ambiental de los sectores productivos, buscando mejorar su competitividad. La estrategia luego se desglosa en varias actividades concretas a ejecutar, entre ellas, disminuir la generación de residuos y aumentar las tasas de reciclaje y valoración.

El Plan busca ejecutar esta acción por medio de la articulación de la Política de Producción y Consumo Sostenible y la Política de Gestión Integral de Residuos, lo cual llevaría a la implementación de programas para promover el consumo responsable y la

responsabilidad del productor en la gestión de residuos posconsumo. Se buscará un énfasis legislativo en la prevención de la generación, el aprovechamiento y la valorización de los residuos sólidos, al igual que el mejoramiento del desempeño ambiental de la disposición final. Adicionalmente, el Plan declara que se reglamentará e implementará la Ley 1672 de 2013, de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, lo cual efectivamente hizo con el Decreto 284 de 2018 (Pg. 677-683, Departamento Nacional de Planeación, 2015).

- **Bases del Plan Nacional de Desarrollo del gobierno Duque, 2018 a 2022**

A pesar de que el PND del presidente electo Duque no ha sido publicado a la fecha de realización del presente trabajo, sí se cuenta con el resumen ejecutivo del documento, el cual expone las bases y líneas de acción principales que guiarán las políticas públicas del país para el período presidencial de 2018 a 2022.

Una de las once bases transversales del PND del presidente Duque se titula “Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo”. Esta base cuenta con cuatro líneas de acción, cada una con sus objetivos y estrategias que permitirán su cumplimiento.

Una de estas líneas de acción, la de sectores comprometidos con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático, abarca varios elementos para la gestión apropiada de los residuos de paneles solares en el país. Esta línea proporciona los lineamientos para el desarrollo de los sectores que deban comprometerse a una producción sostenible, como el agropecuario, energético, industrial, transporte y demás.

Para lograr este desarrollo se implementarán estrategias e instrumentos financieros para que dichos sectores adopten prácticas innovadoras y más sostenibles que reducen los impactos sobre el agua, el aire y el suelo y las emisiones de carbono, al tiempo que aumentan la productividad y competitividad.

El primer objetivo de esta línea de acción es llegar a tener actividades productivas comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático. Algunas de las estrategias que se desarrollarán para impulsar el uso eficiente de los recursos y la transición hacia procesos más limpios y bajos en carbono incluyen el impulso de las energías renovables no convencionales y la eficiencia energética, y el compromiso sectorial con la mitigación del cambio climático.

El segundo objetivo es el mejoramiento de la calidad del aire, del agua y del suelo deteriorados por los impactos de las actividades productivas. Una de las estrategias que apoya el logro de este objetivo es la apropiada gestión de sustancias químicas y residuos peligrosos.

Otro objetivo que apoya esta línea de acción es la economía circular para promover la reducción, el reciclaje y la reutilización de los residuos y materiales, lo cual se planea lograr por medio del fomento de la economía circular en procesos productivos y el aumento del aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de residuos.

Por último, se tiene un objetivo de financiamiento, instrumentos económicos y mercados para impulsar actividades comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático. Para llegar a este objetivo, se proponen instrumentos financieros para incentivar al sector productivo en su transición hacia la sostenibilidad, y tasas ambientales para incentivar la adopción de buenas prácticas y tecnologías limpias, entre otros (Gobierno de Colombia, 2018).

- **Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**

La actual Política Nacional para la Gestión Integral de RAEE fue impuesta en el 2017. La publicación contiene los antecedentes que ofrecen los lineamientos para la política; un marco de referencia conceptual, normativo, institucional y socioeconómico; un diagnóstico de la gestión de los RAEE en el país, incluyendo la generación estimada de éstos; un marco estratégico que incluye los principios y objetivos que orientan la política; un plan de acción que comprende las estrategias, líneas de acción y actores responsables de las tareas que llevarán a la implementación de la política; y por último, un sistema de seguimiento y evaluación de la misma (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

Los cuatro objetivos estratégicos de esta política, cada uno de los cuales tiene una estrategia delimitada en el Plan de Acción de la política, son los siguientes:

1. Prevenir y minimizar la generación de los RAEE promoviendo en la sociedad colombiana un cambio hacia la producción y el consumo responsable de los aparatos eléctricos y electrónicos.
2. Promover la gestión integral de los RAEE, con el fin de minimizar los riesgos sobre la salud y el ambiente.
3. Incentivar el aprovechamiento de los RAEE de manera ambientalmente segura, como alternativa para la generación de empleo y como un sector económicamente viable.
4. Promover la plena integración y participación de los productores, comercializadores y usuarios o consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos, en el desarrollo de estrategias, planes y proyectos para una gestión integral de los RAEE.

El Plan de Acción de la política busca asignarle estrategias concretas a cada uno de estos objetivos, cada una con líneas de acción, metas, e indicadores que lleven la estrategia a la acción. Tiene un horizonte de cumplimiento de largo plazo de 15 años, pero existe una serie de metas contenidas en el Plan que se podrían alcanzar a corto o mediano plazo (5

o 10 años respectivamente). El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible revisará el cumplimiento del Plan de Acción cada cinco años, haciendo seguimiento a los indicadores propuestos. Así se podrán hallar las dificultades que se hayan presentado y tomar decisiones para la mejora o ajuste del Plan de Acción.

La ejecución del Plan se financia con los recursos que proporcionen las diferentes instituciones responsables de las acciones que se proponen, entre ellas el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las autoridades ambientales, las entidades territoriales, los institutos de investigación, y demás. Adicionalmente se pueden gestionar recursos provenientes de la cooperación internacional, u otras fuentes nacionales e internacionales.

⇒ **Estrategia 1: Sensibilización y educación hacia la producción y el consumo responsable de aparatos eléctricos y electrónicos, para la extensión de su vida útil y para la promoción de medidas orientadas al eco-diseño**

Esta estrategia busca promover prácticas de consumo sostenible de AEE en los consumidores con el fin de extender su vida útil mediante su reutilización o reparación. De esta manera, las actividades asociadas a los AEE de segunda mano constituyen un nuevo sector económico en desarrollo, al cual pueden vincularse PYMES y así generar empleo. Es necesario formalizar este sector de manera que los consumidores sientan confianza por la calidad y seguridad del uso de AEE de segunda mano.

Adicionalmente esta estrategia promueve la restricción del uso de sustancias peligrosas en los RAEE, la inclusión de información sobre el desempeño ambiental de los productos y cómo minimizar ciertos impactos ambientales al utilizarlos, y la adquisición de AEE con características de sostenibilidad (como ciclos de vida más largos, materias primas recicladas, y mayor eficiencia energética).

A continuación, se encuentran las líneas de acción pertenecientes a esta estrategia que tienen especial relevancia para la gestión y el manejo integral de los paneles fotovoltaicos:

- Desarrollo de programas, campañas o estrategias de educación ambiental, sensibilización y, participación, para promover la apropiación e implementación efectiva de la Política nacional para la gestión integral de RAEE, con el fin de generar un cambio progresivo en la sociedad colombiana hacia la producción y el consumo responsable de aparatos eléctricos y electrónicos. La meta de esta línea de acción es llegar al menos al 50% de los municipios del país en el año 2032 con estos programas, campañas o estrategias.
- Desarrollo de programas, campañas o estrategias de educación ambiental, sensibilización y, participación, para promover la apropiación e implementación efectiva de la Política nacional para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), con el fin de generar un cambio progresivo en la

sociedad colombiana hacia la producción y el consumo responsable de aparatos eléctricos y electrónicos. La meta es elaborar o actualizar tres reglamentos técnicos o normas técnicas colombianas en el mediano plazo

- Desarrollo de lineamientos técnicos ambientales para la realización de actividades de extensión de la vida útil de los aparatos eléctricos y electrónicos, tales como el reacondicionamiento o la re-manufactura. La meta es elaborar una guía de orientación en el corto plazo.
- Desarrollo de lineamientos para la compra o adquisición de aparatos eléctricos y electrónicos con criterios ambientales en el marco de la Estrategia nacional de compras públicas sostenibles, así como para su correcta gestión al final de su ciclo de vida. La meta es desarrollar una guía para la compra o adquisición de aparatos eléctricos y electrónicos con criterios ambientales en el corto plazo.
- Desarrollo de criterios o requisitos técnicos sobre la información que deben suministrar los productores a los usuarios o consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos, especialmente cuando estos contengan sustancias peligrosas y sobre su correcta devolución al final de su vida útil, con el fin de prevenir y reducir los riesgos para la salud humana y para el ambiente. La meta es desarrollar un instrumento técnico sobre la información que debe ser suministrada a los consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos, en las etiquetas, envases o anexos de los productos y en medios electrónicos de fácil acceso para los consumidores y productores en el corto plazo.
- Levantar información estadística sobre los hábitos de consumo de aparatos eléctricos y electrónicos por parte de los colombianos, que permita realizar estimaciones sobre la generación de RAEE en el país. La meta es el diseño y aplicación de un instrumento de captura de información y estimación de la generación de RAEE en el mediano plazo.



Estrategia 2: Desarrollo y establecimiento de instrumentos para la recolección y gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

El propósito de esta estrategia es implementar sistemas de recolección y gestión de los RAEE, bajo responsabilidad de los productores de los AEE, que por medio de la logística inversa involucren puntos de recolección y centros de acopio con el fin de facilitar la devolución de los RAEE por parte del consumidor. Para lograr la eficiencia en la devolución de los residuos, esta estrategia también incluye un fuerte componente de sensibilización y educación al consumidor sobre la separación en la fuente.

Las líneas de acción de esta estrategia relevantes para la gestión y manejo integral de los residuos de paneles fotovoltaicos son las siguientes:

- Reglamentación gradual de la Ley 1672 de 2013 sobre la gestión integral de los RAEE, en sus diferentes aspectos. La meta, en el corto plazo, es reglamentar: las

obligaciones y responsabilidades de los diferentes actores; las condiciones y requisitos de los sistemas de recolección y gestión de RAEE; el control a la importación de aparatos eléctricos y electrónicos usados y de RAEE; y el desarrollo de indicadores de gestión por resultados que tengan en cuenta entre otros: las metas de recolección basadas en el consumo aparente, la cobertura geográfica, los programas de sensibilización, estímulos a los consumidores para la devolución posconsumo y proyectos de investigación en aprovechamiento de RAEE.

- Elaborar reportes en materia de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. La meta es generar tres reportes sobre el diagnóstico de la generación de RAEE, el estado, los avances y los resultados de la gestión de los RAEE en Colombia, en el corto plazo.
- Diseño e implementación de sistemas de recolección y gestión de los RAEE bajo el principio de la responsabilidad extendida del productor y la participación activa de todos los actores involucrados, mediante procesos de logística inversa o mecanismos equivalentes, con el fin de facilitar al consumidor la devolución de los RAEE. La meta es contar con sistemas de recolección de RAEE para el 90 % de los tipos de aparatos eléctricos y electrónicos de consumo masivo que se importen o fabriquen en el país en el año 2032.
- Diseño e implementación del Registro Nacional de Productores y Comercializadores de AEE permanentes o esporádicos como una de las principales herramientas de seguimiento y control de la gestión integral de RAEE; que permita además, identificar las personas que no cumplen con la implementación de los Sistemas de Recolección y Gestión Ambiental de los residuos de sus productos o de su gestión final adecuada a través de otros mecanismos. Este registro será de carácter obligatorio. La meta de esta línea de acción es implementar el registro de productores y comercializadores de aparatos eléctricos y electrónicos en el corto plazo.
- Desarrollo o fortalecimiento de plataformas tecnológicas o mecanismos de información que apoyen la gestión integral de los RAEE y articulen el trabajo de los diferentes actores involucrados, con criterios de interoperabilidad. Esta línea de acción cuenta con tres metas: primero, contar con un mecanismo de información, mediante el Sistema de Información Ambiental sobre la generación y manejo de los RAEE a nivel nacional en el corto plazo. Segundo, incorporar en los sitios web del Minambiente, la ANLA, el IDEAM y de tres autoridades ambientales de información sobre la gestión integral de los RAEE en el mediano plazo. Tercero, desarrollar de una aplicación para dispositivos móviles para la difusión de información sobre la gestión de los residuos posconsumo en el corto plazo.
- Creación de espacios o mecanismos interinstitucionales para el fortalecimiento del Minambiente, de la ANLA y de las autoridades ambientales para la gestión integral de los RAEE. Esta línea de acción tiene dos metas: la creación de una mesa de trabajo entre Minambiente, ANLA y representantes de las autoridades

ambientales; y desarrollar programas, actividades y material de sensibilización o capacitación sobre la gestión, manejo ambientalmente adecuado de RAEE y las respectivas acciones de control y vigilancia, ambas en el corto plazo.

- Realización de estudios y proyectos piloto con el sector informal (recolector y recuperador) de RAEE, para evaluar la pertinencia o las oportunidades de involucramiento en la cadena de gestión de los RAEE. Las tres metas de esta línea de acción son: Contar con un diagnóstico actualizado de la situación del sector informal en la gestión de los RAEE en el corto plazo; desarrollar un piloto de involucramiento del sector informal con sistemas de recolección y gestión (SRyG) de RAEE aprobados, en la etapa de recolección de los RAEE, en el mediano plazo; y diseñar e implementar un plan de sensibilización para informar y concientizar a los recolectores y recuperadores de RAEE informales sobre los riesgos a la salud y al ambiente derivados de las actividades inadecuadas que llevan a cabo de desmantelamiento, separación y recuperación de materiales en el corto plazo.



Estrategia 3: Transferencia tecnológica y desarrollo de infraestructura ambientalmente segura para el aprovechamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Esta estrategia considera que los RAEE contienen partes y valorizables que constituyen un recurso que no debe ni puede perderse, pues los metales preciosos y plásticos altamente demandados que existen en sus componentes son o provienen de recursos naturales no renovables. Sin embargo, la estrategia también reconoce que los RAEE también contienen sustancias y componentes con características de peligrosidad, que aunque necesarias para el funcionamiento de los aparatos, presentan un riesgo para la salud humana y para el ambiente.

Es por esto que esta estrategia busca fomentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en procesos y tecnologías para el aprovechamiento de los RAEE de una manera ambientalmente responsable y segura, al igual que crear estímulos a los actores que formen parte de la cadena de manejo integral de los RAEE y que desarrollen procesos formales para su aprovechamiento. Donde las otras estrategias en el Plan de Acción de la Política Nacional de RAEE son de carácter gestor y administrativo, esta estrategia es de carácter primordialmente técnico.

Las líneas de acción de esta estrategia relevantes para la gestión y manejo integral de los residuos de paneles fotovoltaicos son las siguientes:

- Impulso y promoción al desarrollo de proyectos de investigación, proyectos pilotos y de innovación tecnológica para el aprovechamiento de los RAEE, especialmente para la recuperación de componentes peligrosos presentes en algunos RAEE, con

participación del sector privado, las autoridades ambientales, centros o institutos de investigación o de tecnología nacionales o extranjeros, con miras a la solución de problemas ambientales, a la creación de empresas o al fortalecimiento de las existentes.

- Desarrollo de lineamientos técnicos ambientales para el manejo de los RAEE, con el fin de prevenir y minimizar los impactos sobre el ambiente, teniendo en cuenta estándares internacionales
- Desarrollo de lineamientos generales a nivel nacional, para el licenciamiento ambiental de instalaciones de almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento (recuperación, reciclado) o disposición final de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y de residuos de pilas o acumuladores.
- Implementación de un registro de gestores de los RAEE por parte de las autoridades ambientales, evaluando si este registro puede ser articulado con las plataformas de información existentes
- Promoción de auditorías, adopción de sistemas de gestión y procesos de certificación voluntaria de empresas de aprovechamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, RAEE, con miras a la identificación de oportunidades de mejora y de reconocimiento empresarial.
- Caracterización de las tipologías de proyectos que sean catalogados como de innovación empresarial o de transferencia de tecnología relativos a la gestión integral de los RAEE, para que sean amparados y priorizados en el marco del CONPES de “Lineamientos de política para estimular la inversión privada en ciencia, tecnología e innovación a través de deducciones tributarias”.
- Desarrollo de actividades de formación de capital humano calificado, capacitación o entrenamiento sobre la gestión ambientalmente adecuada de los RAEE, para el fortalecimiento de los gestores de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y otros actores involucrados en su gestión.
- Estudiar diferentes tipos de estímulos que puedan ser aplicados o desarrollados por las autoridades para fomentar el aprovechamiento y la gestión integral de los RAEE, con base en las experiencias nacionales e internacionales existentes.



Estrategia 4: Conformación de esquemas de trabajo conjunto entre el sector privado y el desarrollo de alianzas público-privadas para promover la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Esta estrategia busca promover el desarrollo de mecanismos de trabajo entre productores, comercializadores y gestores de RAEE para la implementación de sistemas articulados de recolección y gestión de los mismos. Busca garantizar la integración de todos los actores con el fin de asegurar que los programas posconsumo se implementen debidamente en todo el país.

La estrategia fomenta la creación de espacios y de alianzas público-privadas con las entidades nacionales y regionales a nivel sectorial, en especial entre las autoridades ambientales, las entidades territoriales, las ONG, y el sector privado, buscando desarrollar programas y proyectos orientados a la gestión integral de los RAEE.

Las líneas de acción de esta estrategia relevantes para la gestión y manejo integral de los residuos de paneles fotovoltaicos son las siguientes:

- Implementación de un espacio de discusión y coordinación entre el sector público y el sector privado en el ámbito nacional, para promover la formulación, implementación y seguimiento a la Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Conformación de mesas de trabajo regionales entre autoridades y sector privado, con el fin de impulsar las estrategias y líneas de acción establecidas en el marco de la Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Estudiar fuentes de financiación externas para la implementación de proyectos o programas que promuevan la gestión integral de los RAEE.
- Promoción y creación de espacios y estrategias de trabajo para la participación ciudadana por medio de las asociaciones y las ligas de consumidores, que apoyen la educación, la defensa de los derechos y obligaciones de los consumidores, el derecho a informar y ser informados, la libre elección de bienes y servicios amigables con el medio ambiente, etc.

○ **Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible**

La Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible tiene como objetivo orientar el cambio de los patrones de producción y consumo de la sociedad colombiana hacia la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad de las empresas y al bienestar de la población. Busca crear una fuerte masa de empresas que posicionen las buenas prácticas en el mercado nacional e internacional, crear una cultura de producción y consumo sostenible entre instituciones públicas, empresas y consumidores, y fortalecer el marco institucional que impulsa la producción y el consumo sostenible dentro el territorio nacional.

Las estrategias y las líneas de acción de la Política componen el marco para los diferentes actores involucrados en los cambios en los patrones de producción y consumo hacia un horizonte de sostenibilidad, sean estos públicos, privados, académicos o de la sociedad civil. A continuación, una breve discusión acerca de las estrategias más relevantes en el tema de aprovechamiento y disposición final de residuos de paneles solares al fin de su ciclo de vida.



Fortalecimiento de la regulación

El objetivo de esta estrategia es fortalecer el marco regulatorio ambiental y su aplicación, ajustándolos a las tendencias de los mercados globalizados e incluyendo principios preventivos en su concepción, de manera que los actores involucrados se vean motivados a realizar transformaciones productivas más sostenibles y competitivas.

Las nueve acciones instrumentales que apoyan el desarrollo de esta estrategia incluyen desarrollar la regulación de responsabilidad extendida del productor, articular y fortalecer los instrumentos económicos que promueven la producción y el consumo sostenible, y desarrollar legislación que permita el cierre de ciclos de materiales. Las prioridades de esta estrategia le apuntan a la unificación y sistematización de trámites ambientales como permisos y licencias, la regulación del manejo de residuos en una multitud de sectores, el desarrollo de la responsabilidad extendida del productor en los sectores pertinentes, y la armonización de la legislación ambiental con aquella de países con los cuales Colombia tiene tratados de libre comercio.

Los actores responsables del desarrollo e instrumentación de esta estrategia son las autoridades ambientales, lideradas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Pg. 39, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).



Encadenamiento de actores hacia la producción y consumo sostenible

El objetivo de esta estrategia es optimizar el uso de recursos e insumos, el aprovechamiento de residuos, la difusión de buenas prácticas, tecnologías más limpias, y la comercialización de productos sostenibles por medio del encadenamiento de empresas y actores relevantes. Así, se busca crear colaboración entre empresas, apuntando a cambios grupales.

Algunas de las acciones instrumentales de esta estrategia son fortalecer la comercialización de productos y servicios sostenibles entre proveedores, generar líneas de financiamiento para la instrumentación de programas y proyectos en sistemas de producción y consumo sostenible, y articular la inclusión de líneas de trabajo sobre producción y consumo sostenible en programas de financiamiento del desarrollo empresarial.

Los actores clave en el desarrollo de esta estrategia son empresas grandes que incluyen toda su cadena de valor en el mejoramiento continuo de la eficiencia, redes de micro, pequeñas, y medianas empresas, el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, y prestadores de servicio de acompañamiento, capacitación y asistencia técnica.



Compras sostenibles de bienes y servicios

Esta estrategia tiene como objetivo impactar las decisiones de compra de productores y consumidores de bienes y servicios sostenibles. A medida que las empresas y los consumidores finales tengan más en cuenta criterios de calidad ambiental en sus decisiones de compra, la demanda creciente llevará a la innovación en productos y servicios más sostenibles. Por otra parte, esta estrategia busca difundir el cambio de cultura hacia la producción y consumo sostenible.

Algunas acciones instrumentales de esta estrategia son fortalecer los instrumentos económicos existentes y desarrollar nuevos que promuevan la producción y el consumo sostenible, promover el uso de auto-declaraciones y/o certificaciones ambientales entre proveedores y consumidores de bienes y servicios sostenibles, y articular el Programa Nacional de Educación ambiental interinstitucional e intersectorial para la producción y consumo sostenible.

Los actores líderes de esta estrategia son las instituciones públicas y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), al igual que grandes empresas con programas de liderazgo ambiental, asociaciones empresariales, organizaciones no gubernamentales ambientales, y demás. Para la línea de acción de índole educativo de esta estrategia, el actor principal es el Ministerio de Educación Nacional.

○ **Estrategia Nacional de Economía Circular 2018-2022**

Con el apoyo del sector privado, y en compromiso con el desarrollo sostenible, la calidad de vida de la población y de las futuras generaciones, el gobierno Duque buscará introducir nuevos elementos en la Estrategia Nacional de Economía Circular para fortalecer el desarrollo económico, ambiental y social del país. La estrategia orienta la innovación y la generación de valor agregado en los sistemas de producción y consumo a través de optimizar, compartir, intercambiar, reciclar y regenerar materiales y energía. Esto se buscará lograr con incentivos a empresas, consumidores y otros actores de las cadenas de valor para que desarrollen e implementen nuevos modelos de negocio y transformen los sistemas de producción y consumo existentes.

De acuerdo con los objetivos y la visión definidos en la Estrategia Nacional de Economía Circular, los firmantes del documento se comprometen a impulsar las siguientes acciones:

- Promover nuevos modelos de negocio de la economía circular a partir de innovaciones tecnológicas para el cierre de ciclos de materiales, el uso de fuentes renovables de energía, el uso de la energía residual, el remplazo de productos por servicios, la simbiosis entre empresas, la re-manufactura y la reparación.

- Promover la responsabilidad extendida del productor (REP) al internalizar los costos externos relacionados con la gestión de residuos y promover cambios en el diseño de los productos.
- Promover encadenamientos o cadenas de valor para impulsar colaboraciones entre las empresas que las componen para el uso eficiente de materiales, la reutilización de envases y empaques, la implementación de innovaciones tecnológicas, el intercambio de prácticas e información especializada, que contribuyen a la eficiencia y la circularidad en el uso de materiales y energía.
- Promover parques industriales ecoeficientes para desarrollar actividades de simbiosis industrial con el fin de compartir servicios o infraestructura industrial que contribuyen al cierre de ciclos de materiales.
- Promover cadenas agropecuarias sostenibles para el aprovechamiento de biomasa como el compost, fuente energética y reducción de residuos agropecuarios.
- Promover el consumo sostenible que introduce nuevos patrones de consumo de productos y servicios por parte de individuos, empresas u organizaciones, a partir de un menor uso de recursos, especialmente materiales, agua y energía, a lo largo del ciclo de vida de los productos o servicios; el uso de recursos renovables en vez de no renovables; la protección de los ecosistemas y los servicios que éstos nos entregan.
- Promover el desarrollo y uso de tecnologías de información y Big-data para identificar y dimensionar en tiempo real los flujos de materiales, energía y residuos, así como las formas efectivas para la incorporación de materiales y la generación de nuevas oportunidades.

(Gobierno de Colombia, 2018)

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA DE OPORTUNIDADES PARA LA CORRECTA GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS PANELES SOLARES EN EL MARCO CICLO DE VIDA EN COLOMBIA

A continuación, se encuentran las propuestas generadas para la gestión, el tratamiento y la disposición final de los residuos de paneles solares fotovoltaicos en Colombia. Estas propuestas tienen base en las revisiones llevadas a cabo en los capítulos anteriores del presente trabajo, e incorporan las alternativas implementadas exitosamente en otros países con una orientación al contexto colombiano. Se encuentran principalmente

divididas entre propuestas desde la perspectiva de gestión, la perspectiva técnica, y la perspectiva normativa.

3.3.1 Propuestas desde la perspectiva de gestión

○ **Mecanismos de gestión de residuos de paneles solares**

Los mecanismos de gestión de los residuos en cuestión incluyen las responsabilidades de los actores que representan cada etapa del ciclo de vida de un panel solar, desde su fabricación hasta el fin de su vida útil a manos del usuario, y de las estrategias de gestión que puede implementar el Estado y el pueblo colombiano para asegurar y facilitar el manejo apropiado de estos residuos.

Cabe mencionar que dado el alcance del presente trabajo, los lineamientos ofrecidos en este capítulo son específicamente para la gestión y manejo integral de los residuos de paneles solares. Sin embargo, podrían y deberían integrarse con la gestión y el manejo integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, de manera que las estrategias presentadas puedan usarse para gestionar una gama más amplia de residuos.

⇒ **Responsabilidades de cada actor**

A continuación, se presentan una serie de lineamientos respecto a las responsabilidades de productores, fabricantes, comercializadores o distribuidores de paneles solares, los cuales han sido extrapolados de casos exitosos de otras regiones (España, Alemania y el Reino Unido) en conjunto con estándares legales colombianos explorados previamente para generar una cultura de gestión adecuada de los residuos de paneles solares.

• **Responsabilidades de los productores o fabricantes**

Se considera un productor o fabricante aquella persona natural o jurídica que:

- Fabrique y venda paneles solares bajo su propia marca en Colombia
- Venda paneles solares fabricados por un tercero bajo su propia marca en Colombia
- Importe paneles solares comercialmente a Colombia

Todo productor de paneles solares debe registrarse ante la cámara de comercio de su jurisdicción y debe actualizar su información cada año. La información de los sectores productivos proporcionada por las cámaras de comercio es reunida y presentada anualmente por el DANE. Por otro lado, las normas nacionales tienen ciertas condiciones referentes al número de empleados o activos fijos para catalogar a un empresario como pequeño, mediano o gran empresa, y en términos de producción específicamente para

paneles solares se plantea que si pone más de 3 toneladas de paneles en el mercado anualmente, se registra como un productor mayor; de lo contrario, se registra como un productor menor. Este estándar proviene del ejemplo del Reino Unido, donde los productores de más de 5 toneladas anuales se consideran productores mayores; este número se adapta a Colombia considerando el hecho que actualmente la presencia de paneles solares en su mercado es menor.

Sin importar su clasificación, el productor debe asegurar el financiamiento y la organización de la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos tipo RAEE generados por los paneles solares que produce. Los productores son responsables de la recolección de los residuos que recogen sus distribuidores y de los residuos que generan sus consumidores en caso de que éstos no lleven a cabo ningún proceso de devolución al distribuidor.

Los productores mayores deberán unirse a un sistema de cumplimiento del productor similar al implementado en el Reino Unido discutido anteriormente en el presente trabajo; esto es opcional para los productores menores, con tal de que cumplan sus obligaciones de manera independiente en caso de no unirse al sistema.

La finalidad de este sistema de cumplimiento del productor (SCP) es facilitarles a los productores de paneles solares el cumplimiento de sus obligaciones en cuanto a la disposición de sus residuos. El SCP cobra una cuota de membresía anual, la cual utiliza para cubrir los costos de recolección y tratamiento de los residuos de paneles a tratar y disponer finalmente.

Todo productor miembro del SCP debe contribuir una tarifa anual proporcional al volumen de paneles que lleva al mercado anualmente para financiar las actividades del sistema. Además, el productor debe proporcionarle al SCP la información necesaria de su negocio, incluyendo la cantidad de paneles que pone en el mercado colombiano anualmente. La creación del SCP cae bajo responsabilidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de las autoridades ambientales regionales. Las responsabilidades del SCP se delimitan más adelante en este capítulo.

Por otro lado, un productor puede recolectar los residuos de los paneles solares que fabrique y darles un tratamiento y disposición final por su propia cuenta para su propio aprovechamiento de los materiales recuperados, con la finalidad de reducir sus costos y consumo de materia prima.

En caso de que el productor comercialice sus propios paneles o los paneles fabricados por un tercero bajo su propia marca, también debe cumplir con las responsabilidades de los distribuidores y comercializadores de paneles descritas a continuación.

<ul style="list-style-type: none">• Responsabilidades de los distribuidores o comercializadores
--

Se considera un distribuidor o comercializador a cualquier persona natural o jurídica que:

- Se dedique, con fines comerciales, a la distribución mayorista o minorista de paneles solares.
- Venda paneles solares fabricados por un tercero en Colombia, bajo la marca del tercero
- Se encuentra por fuera de Colombia y suministra paneles solares directamente al mercado colombiano por medio de ventas a distancia, como por internet, por teléfono, etc.

Todo comercializador o distribuidor de paneles solares debe registrarse ante su cámara de comercio correspondiente de igual manera que los productores para que el DANE utilice y publique la información con fines estadísticos.

Debe asegurarle a sus clientes un servicio gratis de devolución de sus paneles cuando se acabe su vida útil, sin importar si el cliente adquirió dichos paneles de otro distribuidor. Esta devolución puede darse en los puntos de venta del distribuidor, en un centro de acopio externo dedicado específicamente a los paneles solares o residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en general, o, en caso de no ser posibles estas opciones, como un servicio de recolección a domicilio sin costo alguno.

Si el distribuidor escoge recibir los residuos en su punto de venta o recogerlos a domicilio, debe adecuar una zona designada para su recopilación. Cuando la zona llegue a su aforo, el distribuidor debe asegurarse que los residuos lleguen a un centro de acopio o una planta de tratamiento autorizada que les dé un tratamiento y una disposición adecuada según los lineamientos establecidos en el capítulo anterior del presente trabajo.

Los comercializadores pueden encargarse de transportar los residuos que han recolectado directamente, cumpliendo la normativa pertinente en cuanto al transporte de residuos, o pueden contactar un SCP que se encargue de ello. De igual manera, si recoge los residuos a domicilio puede escoger llevarlos a un centro de acopio designado. Cualquiera sea el caso, el comercializador debe mantener un registro de la cantidad de paneles que haya recolectado y gestionado.

Adicionalmente, es el deber del comercializador o distribuidor ofrecer información a sus clientes acerca de su sistema de devolución y sus responsabilidades como usuarios de paneles solares. Esta información debe estar disponible en cartillas que acompañen el producto y se encuentren en el punto de venta del comercializador. En caso de que el comercializador lleve a cabo sus ventas por internet, la información debe estar publicada en su página web.

• **Responsabilidades de los consumidores o usuarios**

Se considera un consumidor o usuario de paneles solares cualquier persona natural o jurídica que haga uso de éstos para generar energía, sea en un ámbito doméstico, comercial, industrial o investigativo.

Todo usuario de paneles solares es responsable de asegurar que los residuos de cualquiera de sus paneles que haya finalizado su ciclo de vida, se encuentre en alguna condición de daño, o que por alguna otra razón se desee desechar, llegue a una planta de tratamiento autorizada para su tratamiento y disposición. Puede transportar el residuo por cuenta propia, utilizar el sistema de devolución del distribuidor de paneles solares de su preferencia o contactar un SCP directamente para la gestión del residuo, una vez éste se haya implementado en el país.

El residuo de paneles solares debe mantenerse separado de otros tipos de residuos; no debe ser recogido por camiones recolectores regulares con el resto de residuos. En lo posible, el usuario no debe comprometer las características aprovechables de sus residuos; por ejemplo, no contaminarlos con sustancias peligrosas e intentar no quebrar o dañarlos más de lo necesario en su desmontaje para mantener su integridad física.

• **Responsabilidades del SCP**

El sistema de cumplimiento del productor se encarga de gestionar y financiar (con recursos de sus miembros) la recolección, tratamiento y disposición final de los paneles solares. Se propone que el primer SCP sea manejado por el Ministerio de Salud y Protección Social, pues es esta la entidad encargada de la gestión de residuos en el país. Cuando la energía fotovoltaica acumule más fuerza en la matriz energética colombiana se puede abrir la posibilidad de que se establezcan SCP privados para responder a las necesidades del mercado.

Inicialmente, el SCP debe contar con centros de acopio en las ciudades más grandes del país, como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena. A medida que la energía solar fotovoltaica tome mayor significancia en la matriz energética del país, deben establecerse más centros de acopio para cumplir la demanda.

En cuanto a la recolección de los residuos de paneles, el SCP es responsable de:

- Recibirlos directamente de usuarios.
- Recogerlos de los puntos de venta de los distribuidores cuando así lo acuerden.
- Recogerlos de los centros de acopio.

El SCP también está encargado de operar y administrar las plantas de tratamiento de los residuos de paneles solares. Es su responsabilidad velar por la salud pública y del medio

ambiente en todos sus procesos de desmantelamiento, tratamiento, reciclaje y disposición final de los componentes de los residuos, y cumplir con los lineamientos técnicos propuestos en el capítulo anterior del presente trabajo.

○ **Estrategias de gestión**

Además de las responsabilidades de cada actor, una parte importante de la gestión de los residuos de paneles solares yace en las estrategias que pueden implementarse para facilitar el cumplimiento de dichas responsabilidades. A continuación se encuentran algunas de estas estrategias que se proponen para su aplicación o potencialización en Colombia.

⇒ **Bolsa de Residuos y Subproductos Industrializables**

Una herramienta de gestión que ya está siendo implementada en Colombia es la Bolsa de Residuos y Subproductos Industrializables, BORSI. Es una plataforma virtual establecida por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, puesta en marcha mediante acuerdos bilaterales. Tiene el apoyo de la Corporación Empresarial del Oriente Antioqueño, Corpocaldas, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, y la Secretaría Distrital de Ambiente en Bogotá, mediante la operación de nodos regionales.

La plataforma tiene como objetivo promover la valorización de residuos y subproductos industriales por medio de transacciones de compraventa o intercambio, con el fin de fomentar su recuperación, reciclaje y reintroducción a las cadenas productivas (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2018).

Actualmente la herramienta tiene portales específicos para las siguientes regiones de Colombia:

- Bogotá DC.
- Departamento de Caldas y municipios bajo la jurisdicción de Corpocaldas.
- Oriente Antioqueño; Subregión Valles de San Nicolás.
- Valle de Aburrá.
- Valle del Cauca, Cauca, Nariño y Putumayo.
- Resto del país.

Cada una de estas bolsas regionales opera con base en la publicación de anuncios de ofertas y demandas de residuos y subproductos industrializables. Cualquier interesado en anunciar o en solicitar información puede acceder a estas publicaciones.

Sólo la Bolsa regional conoce la identidad del anunciante y del interesado y se publican los datos de manera codificada. Sólo cuando se abre la posibilidad de la transacción, se

comunica al anunciante los datos de quién solicita la información, para que lo contacte directamente, verifique su identidad y realicen la transacción.

La herramienta BORSI puede jugar un papel fundamental en la gestión de paneles solares. Por ejemplo, las plantas de tratamiento autorizadas pueden publicar la disponibilidad de los materiales reciclados en el proceso y listos para ser reinsertados a cadenas productivas, como el aluminio, vidrio y sílice que se generarían a partir del tratamiento de los residuos de paneles solares. Es por esto que potencializar la herramienta, expandir su cobertura y difundir su uso entre los diferentes actores del ciclo de vida de los paneles solares, puede ser una estrategia de alto impacto en la gestión de los mismos.

⇒ **Cartillas de información**

Se pueden diseñar cartillas de información para los tres actores principales de la gestión de los residuos de paneles solares.

Todas las cartillas sin importar su público objetivo, deben contener:

- Los efectos que pueden tener las sustancias peligrosas presentes en los paneles sobre el medio ambiente y la salud humana y la importancia de su apropiada gestión y disposición.
- Una lista enumerando la normativa vigente y relevante en cuanto a sus actividades de disposición de RAEE y paneles solares.

Adicionalmente, las cartillas para cada actor deben contener:

Productores o fabricantes:

- Un resumen de sus obligaciones y responsabilidades como distribuidores de paneles solares.
- Los servicios que presta el SCP a los productores de paneles solares.
- Los posibles beneficios que podría presentar el apropiado aprovechamiento y disposición de sus paneles solares.

Distribuidores o comercializadores:

- Un resumen de sus obligaciones y responsabilidades como distribuidores de paneles solares.
- Las opciones de sistemas de recolección y devolución que pueden implementar.
- Los servicios que presta el SCP propuesto a los distribuidores de paneles solares.

Consumidores o usuarios:

- Sus obligaciones y responsabilidades como consumidores de paneles solares y generadores de sus residuos, por ejemplo, no disponer de éstos como residuos urbanos no seleccionados y recogerlos de manera separada.
- Los sistemas de recolección y devolución que tienen disponibles.
- Cómo pueden contribuir al aprovechamiento, reciclaje y valorización de sus residuos de paneles solares.



Capacitaciones a gestores

Por último y para reunir las estrategias planteadas y facilitar su implementación, se propone realizar capacitaciones a los diferentes gestores de los residuos en cuestión.

Para los operarios de las plantas de tratamiento de residuos, se pueden hacer capacitaciones en una modalidad presencial en las cuales se describan los componentes de los paneles solares que estarán tratando y presenten los lineamientos y objetivos de dicho tratamiento. Además, se pueden presentar las diferentes maneras de aprovechar los materiales que saldrían de la planta tras el tratamiento para mostrar cuál sería su uso a futuro. Adicionalmente es importante capacitarlos acerca de las posibles características de peligrosidad que pueden presentar algunos componentes de los paneles, los riesgos que estos presentan a la salud humana, y su adecuada manipulación y gestión.

Para los distribuidores de paneles solares, las capacitaciones pueden hacerse a manera de video en la página web del Ministerio de Ambiente o del Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, directamente en la página de BORSI. Esta capacitación puede reunir la información delineada en las cartillas, en conjunto con las especificaciones de los puntos de recolección y los requerimientos necesarios para registrarse como transportadores de residuos.

Por último, una capacitación para los usuarios y consumidores también puede hacerse como video en las páginas web mencionadas. Esta capacitación reuniría la información de las cartillas, además de una explicación breve del proceso de recolección, transporte, tratamiento y aprovechamiento del residuo de paneles solares para que el público esté informado de cómo se manejan sus residuos.

3.3.2 Propuestas desde la perspectiva técnica

Las propuestas desde la perspectiva técnica tienen base en aquellas tecnologías y procesos utilizados en los países analizados en el presente trabajo, además de una breve revisión de los componentes de los paneles fotovoltaicos y las mejores técnicas disponibles en el mercado para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los mismos.

○ Componentes del residuo

Para crear una propuesta técnica de la disposición final de los paneles fotovoltaicos, primero se necesita tener claridad acerca de los componentes y materiales dentro del residuo. Como se evidencia en la Figura 2, los paneles solares están compuestos por capas de diferentes materiales que optimizan el aprovechamiento del efecto fotovoltaico para la producción de energía.

La unidad base de un panel solar es la celda fotovoltaica, compuesta por capas del semiconductor silicio dopado de diferentes compuestos para optimizar su eficiencia fotoeléctrica - una capa de silicio dopado con fósforo, llamada la capa de silicio tipo P; otra capa de silicio, esta dopada con boro y denominada la capa de silicio tipo N; y entre ellas, una capa de silicio puro llamada la capa de barrera o de unión, la cual contiene los circuitos eléctricos necesarios. Estas capas de silicio se encuentran entre dos capas encapsulantes, compuestas de plástico especializado altamente transparente.

Las celdas se encuentran empotradas en una matriz de un material plástico y esponjoso para su protección, hecha de etilvinilo de acetato (EVA). Esta matriz se ubica sobre la capa posterior del módulo, hecha de plástico PVF o Bo-PET. El panel resultante se cubre por una lámina de vidrio y sostiene con un marco de aluminio.

Capa	Material
Cubierta	Vidrio
Encapsulante	Plástico
Silicio tipo P	Si + P
Capa de unión	Si + circuitos eléctricos
Silicio tipo N	Si + B
Encapsulante	Plástico
Matriz	EVA
Capa posterior	PVF o Bo-PET
Marco	Aluminio

Figura 2. Capas componentes de los paneles fotovoltaicos cristalinos y sus materiales

○ Lineamientos técnicos del manejo del residuo

Considerando los materiales utilizados en cada capa del panel solar, al igual que la construcción del mismo, se deben considerar ciertos criterios a cumplir con la recuperación y tratamiento de los residuos de paneles solares.

- Deben removerse el marco metálico, la cubierta de vidrio y la capa posterior con fuerza mecánica. Estos materiales son reciclables e incluso reutilizables, por lo que se debe intentar preservar sus características aprovechables para su reinserción en ciclos productivos posteriores.

- La matriz de EVA debe ser removida por los medios necesarios – fuerza mecánica en su preferencia, pero puede realizarse un procesamiento térmico si es necesario. En caso de requerir el procesamiento térmico, debe asegurarse un tratamiento de las emisiones atmosféricas resultantes. Idealmente se recircularían en el proceso para aprovechar su poder calórico.
- Los circuitos eléctricos al interior de las celdas individuales deben ser removidos. Esto puede hacerse con fuerza mecánica, triturando las celdas hasta poder extraer los circuitos.
- Las capas encapsulantes de las celdas individuales deben ser separadas del material semiconductor entre ellas. La naturaleza de los materiales requiere un procesamiento químico para separarlos. Los compuestos utilizados para llevar a cabo este proceso deben ser tratados y reutilizados en la medida de lo posible. Cualquier efluente que salga de este proceso debe ser tratado apropiadamente antes de ser vertido.
- El plástico encapsulante y el material semiconductor, de manera separada, deben ser lavados para remover cualquier traza de materiales peligrosos y corrosivos. Ambos materiales pueden tratarse posteriormente y volver a ser utilizados como materia prima para la fabricación de paneles fotovoltaicos. El agua de lavado debe ser tratada para extraer metales y otros compuestos que haya recogido, e idealmente ser recirculada en el proceso.
- Durante todo el proceso debe velarse por la responsabilidad ambiental, evitando en lo posible cualquier efluente tóxico o peligroso en cualquier etapa

○ **Opciones para el tratamiento del residuo**

Considerando los lineamientos técnicos establecidos y las técnicas de tratamiento y disposición utilizadas en otros países, se propone la siguiente alternativa que cumple las orientaciones planteadas en la sección anterior para el tratamiento y disposición de los residuos de paneles solares.

1. **Reciclaje de aluminio:** se desmonta el marco de aluminio del panel. Se lleva el aluminio a reciclaje
2. **Reciclaje de vidrio:** se remueve la cubierta de vidrio del panel. El vidrio es llevado a reciclaje.
3. **Reciclaje de plástico:** la cubierta posterior es removida y llevada a una planta de reciclaje de plástico.
4. **Reciclaje de plástico, matriz EVA:** las celdas fotovoltaicas y la matriz de plástico EVA en la que se encuentran incrustadas se llevan a una plataforma de vibración con el fin de separar ambas partes. El plástico EVA se lleva a reciclaje.
5. **Reciclaje de metales:** las celdas individuales son trituradas y se remueve el componente eléctrico. El metal extraído se recicla.
Los fragmentos luego son martillados hasta llegar a un diámetro promedio de alrededor de 10 mm.

Los fragmentos martillados son llevados a un barril de rotación, donde una solución débil de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno para separar la capa encapsulante de la capa semiconductor.

- Ambos componentes son separados y clasificados, y posteriormente lavados para remover los componentes peligrosos y los líquidos corrosivos remanentes del barril de rotación. Tanto el material encapsulante como el material semiconductor es reciclado
- El agua de lavado va a un tanque de precipitación, con el fin de recuperar los metales.
- Como el metal es separado por densidad en el tanque de precipitación, se puede llevar el contenido de metal pesado o tóxico para ser dispuesto seguramente, mientras que los metales semiconductores pueden ser procesados hasta volver a ser materia prima.

La Figura 3 presenta este proceso de manera gráfica.

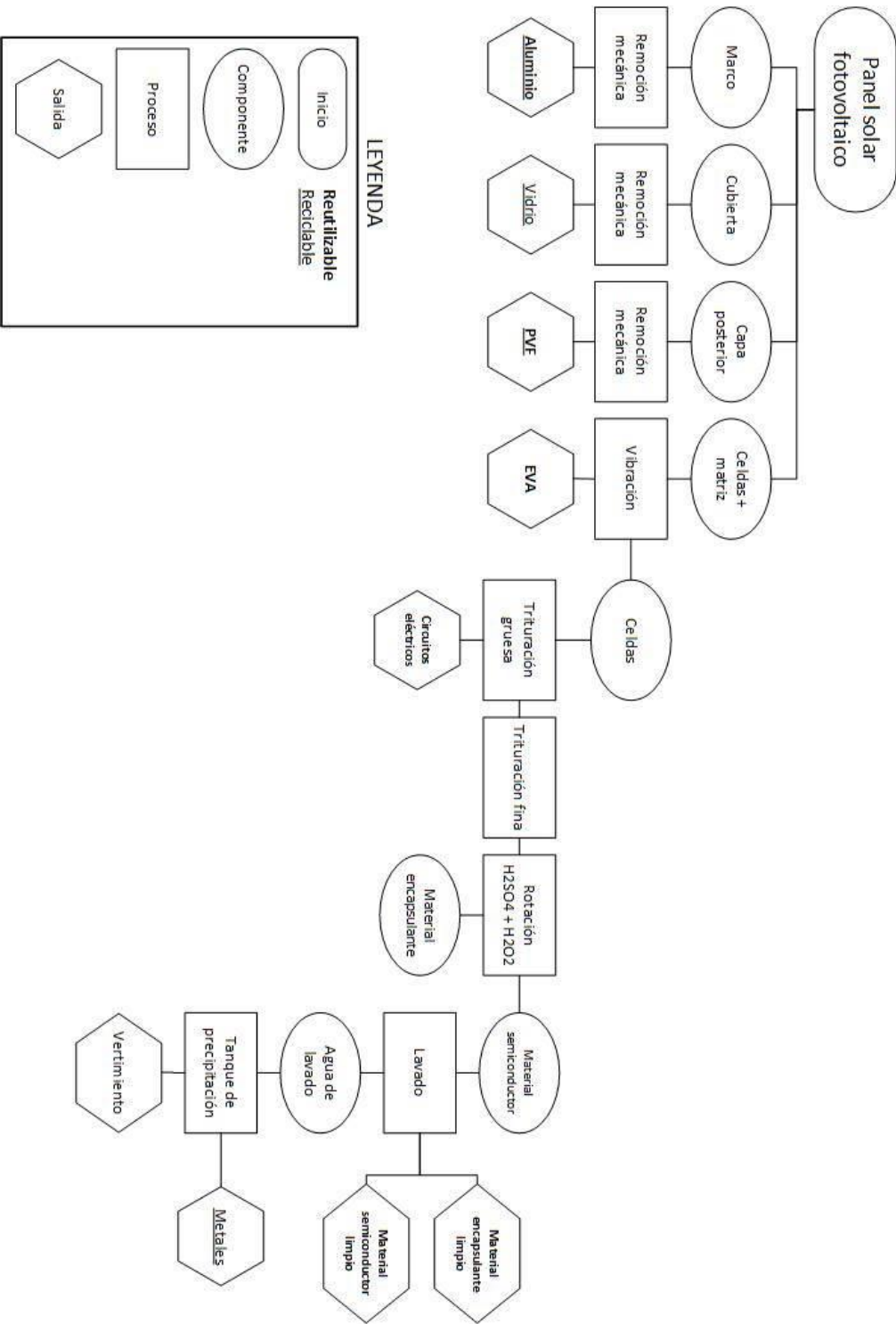


Figura 3. Propuesta para el proceso de dismantelamiento, tratamiento, y disposición final de los componentes de paneles fotovoltaicos

3.3.3 Propuestas desde la perspectiva normativa

Para reunir las propuestas técnicas y normativas formuladas en el presente trabajo, se construyó un reglamento técnico que serviría como apoyo a la normativa nacional en el tema de gestión y manejo de los residuos de paneles solares en Colombia. Este reglamento toma como base las estructuras normativas implementadas por la Unión Europea y las consecuentes estrategias ejecutadas por países como el Reino Unido, Alemania y España, al igual que las alternativas técnicas elaboradas en el capítulo anterior que a su vez tomaron base en las tecnologías utilizadas en dichos países y en las mejores técnicas disponibles. Todo esto, en conjunto con una consideración del contexto colombiano en cuanto al manejo residuos sólidos y de RAEE, llevó a la estructura y el contenido del reglamento técnico propuesto, el cual puede encontrarse en el **Anexo 1**.

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La finalidad de este trabajo fue dejarle un aporte al país en términos de gestión de los residuos de paneles solares y de opciones técnicas y normativas que se pudieran implementar en un corto a mediano plazo. Desde el análisis realizado de los casos de estudio de países como el Reino Unido, Alemania y España, en conjunto con la consideración del contexto nacional, salen estrategias concretas que el país puede adoptar a medida que las energías solares fotovoltaicas van tomando fuerza en su matriz energética. Estas estrategias, que se orientaron a la gestión, lo técnico y lo normativo, se reunieron en un reglamento técnico que puede ser incorporado por el Ministerio de Medio Ambiente si en algún momento decide reglamentar directamente la gestión de los residuos de los paneles solares.

Ya que la normativa actual no especifica cómo se deben gestionar estos residuos en particular, y que el uso de la energía fotovoltaica irá aumentando en el país a medida que sus costos bajen y se regulen más y más las energías renovables no convencionales con normas como la Ley 1715 de 2014, es de esperarse que los residuos de paneles solares se conviertan en una problemática importante dentro de las próximas dos décadas, cuando estos dispositivos empiecen a terminar sus ciclos de vida. Es por esto que el reglamento planteado en este trabajo presenta una gran oportunidad para el país para evitar los impactos ambientales asociados al mal manejo de los residuos, prevenir la generación de residuos peligrosos al darles a los paneles un manejo adecuado y a tiempo, y a la vez construir caminos para la economía circular y la sostenibilidad. Para lograr esto, se requiere el apoyo del gobierno local y nacional para la implementación de alternativas técnicas y de gestión como las presentadas en este trabajo.

Es importante hacer énfasis en el hecho de que aunque las propuestas presentadas en este trabajo se hicieron orientados específicamente hacia la gestión de los residuos generados por paneles solares; sin embargo, deberían integrarse con una gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para potencializar y complementar el manejo de ambos tipos de residuos. Por ejemplo, el concepto del SCP podría abarcar no solo la recolección, tratamiento y disposición de paneles solares, sino también de otros aparatos eléctricos y electrónicos como computadores, luminarias, televisores, entre otros, y así darle un tratamiento a más residuos, fortalecer la infraestructura para hacerlo, y facilitar su financiamiento.

Una observación importante que se hace en cuanto a la elaboración de trabajos como este, es la falta de información que existe para el caso colombiano, tanto en términos generales específicos; por ejemplo, el curso de la última fase de este proyecto tuvo que ser alterado por completo dado que la información necesaria para realizar un análisis de ciclo de vida de las alternativas propuestas simplemente no se encontraba disponible,

empezando porque el DANE aún no reporta públicamente la capacidad instalada de energía solar en el país. Esta carencia de información dificulta enormemente estudios relacionados con análisis de ciclo de vida, estudios de mercado para el sector, y demás análisis necesarios para que el país esté preparado para los cambios que seguramente tendrá el modelo energético en cuanto a las energías renovables no convencionales.

Por último, dados los plazos necesarios para adoptar las alternativas propuestas, puede concluirse que aún hay tiempo para que Colombia pueda establecer los mecanismos necesarios a tiempo para recibir las primeras generaciones de paneles solares que saldrán de su ciclo de vida en las próximas dos décadas y evite las consecuencias económicas y medioambientales de no gestionar estos residuos apropiadamente desde un inicio.

5. REFERENCIAS

Burger, B. (8 de mayo de 2018). *Power generation in Germany – assessment of 2017*. Obtenido de Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/Stromerzeugung_2017_e.pdf

Celsia. (s.f.). *Energía Solar*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2017, de <http://www.celsia.com/es/energia-solar>

Centro Nacional de Producción Más Limpia. (2018). *Bolsa de Residuos y Subproductos Industrializables*. Obtenido de <http://www.borsi.org/#>

Classify different types of waste. (s.f.). Obtenido de <https://www.gov.uk/how-to-classify-different-types-of-waste/electronic-and-electrical-equipment>

Congreso de la República. (11 de Julio de 1994). *Ley 142 de 1994*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>

Congreso de la República. (19 de Julio de 2013). *Ley 1672 de 2013*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5542>

Congreso de la República. (2017 de Diciembre de 11). *Ley 1713 de 2002*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5542>

Congreso de la República. (13 de Mayo de 2014). *Ley 1715 de 2014*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

DeBono, M. (12 de septiembre de 2017). *How Many Solar Panels Do You Need: Panel Size and Output Factors*. Obtenido de SunPower: <https://us.sunpower.com/blog/how-many-solar-panels-do-you-need-panel-size-and-output-factors/>

Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Tomo 1*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/PND%202014-2018%20Tomo%201%20internet.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Tomo 2*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://culturayeconomia.org/wp-content/uploads/4-Plan-Nacional-de-Desarrollo-2014-2018-Tomo-2.pdf>

Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (marzo de 2018). *Energy Trends March 2018*. Obtenido de Department for Business, Energy & Industrial Strategy: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/712458/Energy_Trends_March_2018.pdf

Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (29 de mayo de 2014). *Solar photovoltaics deployment*. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/statistics/solar-photovoltaics-deployment>

Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (15 de enero de 2016). *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) collection: code of practice*. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/publications/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee-collection-code-of-practice>

Electrical waste: retailer and distributor responsibilities. (s.f.). Obtenido de <https://www.gov.uk/electricalwaste-producer-supplier-responsibilities>

Environment Agency. (1 de mayo de 2014). *Electrical and electronic equipment (EEE): producer responsibilities*. Obtenido de <https://www.gov.uk/guidance/electrical-and-electronic-equipment-eee-producer-responsibility>

European Comission. (s.f.). *Introduction to LCA*. Obtenido de <https://web.archive.org/web/20071225060025/http://lca.jrc.ec.europa.eu:80/lcainfohub/introduction.vm>

European COmmission. (24 de Abril de 2017). *Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE)*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm

European Commission. (10 de enero de 2018). *Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE)*. Obtenido de European Commission - Environment: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE. (27 de agosto de 2018). *Photovoltaics report*. Obtenido de Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Fraunhofer ISE. (20 de julio de 2018). *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*. Obtenido de Fraunhofer ISE: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

Gobierno de Colombia. (2018). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Resumen Ejecutivo. En *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Resumen Ejecutivo* (págs. 70-73). Bogotá.

Green Match. (9 de marzo de 2018). *Solar Panels in the UK*. Obtenido de Green Match: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/08/how-popular-are-solar-panels-in-the-uk>

Green Match. (8 de febrero de 2016). *The Feed-In Tariff: What Is It*. Obtenido de Green Match: <https://www.greenmatch.co.uk/green-energy/grants/feed-in-tariff>

IRENA. (s.f.). *About IRENA*. Obtenido de <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=cat&PriMenuID=13&CatID=9>

IRENA, IEA-PVPS. (2016). *End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels*. Obtenido de http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf

Kim, M. P. Ciclo de Vida del Vidrio de los Paneles Fotovoltaicos. En *Tecnología* (págs. 53-57).

Masson, G., Orlandi, S., & Reking, M. (2014). *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*. Obtenido de European Photovoltaic Industry Association: https://www.webcitation.org/6QGSvAF7w?url=http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf

Matasci, S. (1 de enero de 2018). *What is the average solar panel size and weight?* Obtenido de Energy Sage: <https://news.energysage.com/average-solar-panel-size-weight/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Plan de acción - Política Nacional*. Obtenido de Gestión integral de residuos de aparatos electrónicos: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_5_1.html

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/Politica_RAEE.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible*. Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Programa_y_consumo_sostenible/polit_nal_produccion_consumo_sostenible.pdf

NuWire. (21 de abril de 2010). *Germany Reducing Incentives For Solar Property Investment*. Obtenido de NuWire Investor: <http://www.nuwireinvestor.com/germany-reducing-incentives-for-solar-property-investment/>

OFGEM. (5 de octubre de 2018). *Feed-In Tariff (FIT) rates*. Obtenido de <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/fit/fit-tariff-rates>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (24 de julio de 2012). *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Obtenido de EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>

PV Cycle. (2018). Obtenido de PV Cycle: <http://www.pvcycle.org/es/>

PV Cycle. (18 de Febrero de 2016). *Breakthrough in PV Module Recycling*. Obtenido de <http://www.pvcycle.org/press/breakthrough-in-pv-module-recycling/>

PV Cycle. (s.f.). *Waste Holders*. Obtenido de <http://www.pvcycle.org/legislation/waste-holders/>

Recyclia. (2018). *¿Qué reciclamos?* Obtenido de Recyclia: <https://recyclia.es/que-reciclamos/>

República de Colombia. (18 de Diciembre de 1974). *Decreto 2811 de 1974*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf

República de Colombia. (30 de Diciembre de 2005). *Decreto 4741 de 2005*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18718#>

Santhanam, N. (22 de octubre de 2015). *Can my roof bear the weight of solar panels*. Obtenido de Solar Mango: <http://www.solarmango.com/ask/2015/10/22/can-my-roof-bear-the-weight-of-solar-panels/>

Solar Power Europe. (2015). *Solar Power Europe: Who We Are*. Obtenido de <http://www.solarpowereurope.org/home/>

Strom-Report Blog. (abril de 2016). *Germany: solar Power factsheet 2016*. Obtenido de Strom-Report Blog: <https://1-stromvergleich.com/solar-power-germany//>

Strom-Report Blog. (2017). *Renewable Energy Germany*. Obtenido de Strom-Report Blog: <https://1-stromvergleich.com/strom-report/renewable-energy-germany/>

Unión Europea. (9 de abril de 2018). *Commission notice on technical guidance on the classification of waste*. Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2018.124.01.0001.01.ENG&toc=OJ:C:2018:124:TOC

Unión Europea. (19 de noviembre de 2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>

Waste regulations. (8 de mayo de 2014). Obtenido de Umwelt Bundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/waste-management/waste-regulations>

